

交 流 電 學

裴維裕編譯

中國科學圖書儀器公司印行

電 工 技 術 叢 書

交 流 電 學

裘 維 裕 編 譯



2861402



中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司 印 行

上 海

中國科學社工程叢書

電工技術叢書

交流電學

ALTERNATING CURRENTS

中華民國三十四年十月初版

中華民國三十八年一月三版

版權所有 翻印必究

原著者

I. C. S. Staff

編譯者

裘維裕

出版者

電工圖書出版社

發行者

楊孝述

發行所
印刷所

中國科學圖書儀器公司
上海中正中路537號

分公司

中國科學圖書儀器公司
南京 廣州 重慶 北平 漢口

凡 例

- (一)本叢書編譯之目的，係爲訓練電機工程事業各項中級工程師及高級技工之用；職業學校，函授學校等採作課本，最爲適合；卽爲有志自修者，亦極合用；而大學生備作參考，以補大學教本略於實用之不足，裨益亦非淺鮮。
- (二)本叢書係用美國國際函授學校 (International Correspondence School)所編之教本爲依據，延聘專家，從事編譯；原書優點爲(1)注重實用，(2)說理淺顯；(3)插圖豐富詳明，尤以插圖多經精心繪製，與正文相得益彰，最爲特色。
- (三)本叢書一面採用國外已見成效之書籍爲藍本，一面力求適合國情，盡量加入國內已有之材料及法規，庶免隔閡之弊。
- (四)本叢書對於原書之優點，力爲發揮，惟原書若有舛誤或欠妥，亦不事盲從，而惟求其至是，不憚加以修正，以免遺誤。
- (五)本叢書側重中級電工教育，對於高深精確之理論，大都從略，間有必須牽涉之處，亦祇能取譬於日常切近之事物，出以通俗近似之陳述，精確之度難免犧牲，讀者諒之。
- (六)本叢書中所用各項單位，均取國際制，凡原書用英美制之處，則加註國際制之當量值。

- (七)本叢書在原則上遵用教育部頒之名詞。凡名詞若爲部頒所無者，或部頒名詞在實用上有窒礙者，則有編輯會議商定之。
- (八)本叢書各冊名詞力求統一，惟卷帙甚繁，編輯部同人校訂難免疏漏，所望讀者發現矛盾或不一致之處，惠予指正，以期再版時收統一之效。
- (九)本叢書中重要名詞後均附註英文名詞，並於每冊後附英漢對照名詞彙。
- (十)本叢書爲普及起見，用語體文撰述。
- (十一)本叢書第一集共二十三冊，電工各門大致俱備，其他門類，如電信等，擬陸續另出第二集補成之。
- (十二)本叢書編輯同人均以業餘之暇從事撰述，疏誤在所難免，所望海內方家，不吝見教，俾於再版時得以更正，不獨同人個人之幸，亦中國電工教育之幸也，

編譯者序言

本書係美國萬國函授學校所編，把交流的基本原則和電路的計算方法，用淺顯的文字來說明，可稱得扼要而簡明，實是初學者一本很好的自習課本。

本書依照美國的習慣，交流的頻率用每秒鐘60週，但是我國採用的頻率是每秒鐘50週，所以本書內除習題以外，凡是用每秒60週的頻率的地方，大都已經改成每秒50週的頻率。趨膚效應一節，原來用頻率60做標準的，所以完全重行寫過。

書內有說理不甚透澈，或者不甚妥當的地方，大都已加以改正。

本書和電學與磁學一書，有聯接的關係，換句話說電學與磁學，是這本書的基礎。在修習交流電學以前，最好先把電學與磁學一讀。

在編譯的書候，承蒙楊季璠和楊允中兩位先生，時予建議，深為感荷。本書的譯名對照索引，以及校對的工作都是韓羣女士擔任的，一併誌謝。

裘維裕序於上海，

民國三十四年八月。

目 錄

第一編 通 論

第一章 定義和圖示法..... 1

1.1 直流和交變電流的比較 1.2 直電壓和交變電壓的比較 1.3
交變電流的圖示法 1.4 循環 1.5 頻率 1.6 交變 1.7 機工空
間度 1.8 電工時間度 1.9 電工空間度

第二章 交變電壓的產生..... 7

2.1 概論 2.2 電壓曲線的作法

第三章 電壓和電流的各種量值.....12

3.1 瞬時量值 3.2 最高值 3.3 平均值 3.4 有效值 3.5 波形
因數和巔值因數 3.6 集要

第四章 周相的關係.....17

4.1 同相和異相 4.2 周相差 4.3 同步

第五章 用波形的計算方法.....21

5.1 同周相正弦波的加法 5.2 異周相正弦波的加法 5.3 畸形
波 5.4 諧波

第六章 自感.....25

6.1 電感 6.2 電感的單位 6.3 感抗 6.4 感抗的電壓降落 6.5
有感電路裏的周相關係 6.6 抗流線卷

第七章 電容.....33

7.1 電容的效應 7.2 容電器的類喻 7.3 電容的單位 7.4 容抗
7.5 容抗的電壓降落

第八章 有交流的導體和交流電路.....39

8.1 趨膚效應 8.2 阻抗 8.3 只有電阻的電路 8.4 只有電感的
電路 8.5 只有電容的電路 8.6 電導,電納,和導納

第九章 諸量圖示法.....47

9.1 無向量和有向量 9.2 諸量 9.3 同相諸量的加法 9.4 不同
相諸量的加法 9.5 諸量轉動的方向 9.6 諸量合量的三角形法
9.7 決定諸量周相關係的方法 9.8 諸量的分析 9.9 諸量的減法

第二編 單相電路

第十章 串聯電路.....65

10.1 概論 10.2 電阻和電感串聯的電路 10.3 電阻和電容串聯
的電路 10.4 電感和電容串聯的電路 10.5 一個有電阻,電容,
和電感串聯的電路,同串聯電路的共振 10.6 集要

第十一章 並聯電路.....81

11.1 概論 11.2 一個電阻和電感並聯的電路 11.3 導納三角
11.4 一個電阻和電容並聯的電路 11.5 一個電感和電容並聯的

電路 11.6 一個電阻,電感,和電容並聯的電路 11.7 並聯電路的共振 11.8 集要

第三編 多相電路

第十二章 概論 94

12.1 定義 12.2 多相電路的種類 12.3 諧量符號的方向標誌方法 12.4 電壓的計算方法

第十三章 雙相電路 101

13.1 雙相四線制 13.2 雙相三線制 13.3 雙相三線制裏的電流 13.4 集要 13.5 雙相五線制

第十四章 三相電路 106

14.1 概論 14.2 星芒形接法 14.3 三相電路的諧量圖 14.4 三相四線制 14.5 三角形接法 14.6 不平衡的三相負載 14.7 缺邊三角形接法

第四編 功 率

第十五章 概論 114

15.1 無感電路的功率 15.2 正和負的工作和功率 15.3 有抗電路的功率 15.4 無功電流 15.5 不同周相的電流和電壓 15.6 功率因數 15.7 計算單相電路功率的方法 15.8 計算多相電路功率的基本原則 15.9 計算雙相電路功率的方法 15.10 計算三相電路功率的方法

069869

交 流 電 學

第一編 通論

第 一 章

定義和圖示法

東
北
圖
書
館

1.1 直流和交變電流的比較 在一個導體 (conductor) 裏，循着一個方向流動的電流 (electric current) 叫做直流 (direct current)。若是電路的性質不變動，電流的量值 (value) 也是不變動的；換句話說，若是電路裏的電流是 5 安培 (ampere)，那末，在無論什麼時候，電流都是 5 安培。直流好像河道裏的水流，若是水流的速率 (speed) 和方向 (direction) 都不變動，這就是直流。

交變電流或者交流 (alternating current) 的量值和方向，時時變更。變更的時間是相等的。在開始的時候，它的量值是零，循着一個方向流動，漸漸增加到最高值 (maximum value)，於是漸漸的減小到零；到了這個時候，它的方向就反過來，再從零循着相反的方向，增加到最高值 再漸漸的減到零。我們可以把

一個方向當做正，相反的方向當做負。正負兩個方向的最高值大都是相等的。交流好像連接海和海灣的河道裏的水流，因為潮汐 (tide) 漲退的關係，水流的量值和方向，時時變更。低潮 (low tide) 的時候，河道裏沒有水流；潮水初起的時候，水從海流到海灣裏，河道裏的水流，漸漸增加；到了中潮 (half tide) 的時候，水流的速率最大。過了中潮，水流仍舊循着原來的方向流動，但是速率減小。到了高潮 (high tide) 的時候，河道裏又沒有水流，過了這個時候，潮的方向變更，河道裏的水開始從海灣流到海裏去，速率漸漸的增加，到了中潮，水流在相反方向的速率，又達到最高值。過了第二次的中潮，速率漸漸的減小，再回到低潮的時候，水流完全停止。河道裏的水流，因為潮汐的關係，天天有這樣的交變 (alternation)，交流電路 (alternating current circuit) 裏的電流，也是這樣，不過變的時間，每秒鐘可以五十次，時間比較短得多。

1.2 直電壓和交變電壓的比較 要使一個電路裏有直流，那末加到這個電路上的電壓 (voltage) 或者電動勢 (electromotive force) 一定要是直電壓 (direct voltage) 或者直電動勢 (direct electromotive force)，換句話說，電壓或者電動勢的方向要不變的。若是要使電路裏有交變電流或者交流，那末加到電路上的電壓或者電動勢的量值和方向，應當時時變更，因為交流的量值和方向同所加的電壓或者電動勢的量值和方向是有關係的。交變電壓的量值從零起始，循着一個方向，漸漸增加到最

高值，從最高值漸漸減小到零。到了這個時候，電壓的方向就反過來，循着相反的方向，漸漸增加到最高值，再漸漸的減到零，完全和交流一樣。但是在一個電路裏，電流和電壓，並不是一定在同時達到最高值的，關於這一點，下面還有詳細的說明。

1.3 交變電流和電壓的圖示法 要明瞭交變電流和交變電壓的情形，最好的方法是把它們的瞬值(instantaneous value)

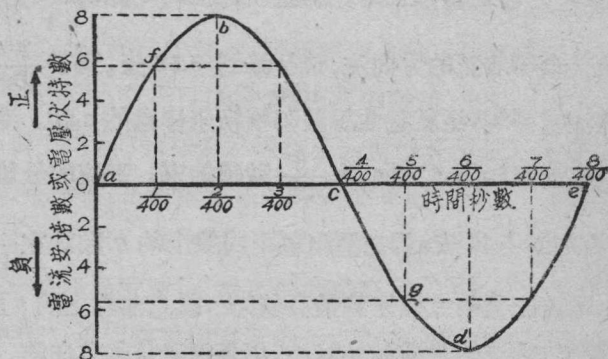


圖1.1 交變電流或者交變電動勢的瞬值曲線

繪成功一個曲線。圖 1.1 就是這種曲線。橫坐標的標值 (scale) 是時間的秒數。若是這種曲線是用來表示電流的波形，那末縱坐標的標值是電流的安培數；若是用來表示電壓的波形，那末，縱坐標的標值是電壓的伏特數。我們可以用一個例子來說明它；假定一個交流每秒鐘經過 50 個正和 50 個負值的變更，那末每一個正和負的變更所需的時間是 $\frac{1}{50} = \frac{8}{400}$ 秒。因為橫坐標是分成八份，或者八個時程 (interval)，所以每一時程的時間是

$\frac{1}{400}$ 秒鐘。從縱坐標的標度可以看得出，電流的最高值是 8 安培。電流起始時候的量值是零，這就是曲線上的 a 點。到了 $\frac{1}{400}$ 秒鐘的末，電流的量值在正的方向增加到 5.56 安（安是安培的省稱），就是曲線上的 f 點。在 $\frac{2}{400}$ 秒鐘的末，電流達到它的最高值 8 安，方向仍舊是正的，就是曲線上的 b 點。過了 $\frac{3}{400}$ 秒鐘，電流仍舊循着正的方向流，但是減到 5.56 安。到了 $\frac{4}{400}$ 秒鐘的末，電流減到零，這就是曲線截割橫坐標處的 c 點。到了這個時候，電流開始變更方向，在 $\frac{5}{400}$ 秒鐘的末，電流的量值在負的方向增加到 5.56 安，就是橫坐標下曲線上的 g 點。在 $\frac{6}{400}$ 秒鐘的末，電流在負的方向達到最高值 8 安，就是曲線上的 d 點。到了這個時候，電流的量值開始減小，仍舊循着負的方向流，直到 $\frac{8}{400}$ 秒鐘的末，電流的量值減到零，這就是曲線截割橫坐標處的 e 點。過了這一點，在一個一定時間裏，交流就照上面講的變更程序，每秒鐘裏，周而復始的重複五十次。交流的正負方向是相對的，在一個電路裏無論那個方向可以當做正，另一個方向當做負。同時，不要因為曲線是波形的，把交流電路裏的電流當做電磁波。曲線的縱坐標表示的是電流的瞬時量值，因為瞬時量值是諧函數(harmonic function)，所以得到一條正弦(sine)形的曲線。電磁波是完全另一件事，不可以相混。在電流開始流動以

後任何瞬時，電路裏各處的瞬時值都是相同的。例如；在 $\frac{2}{400}$ 秒鐘的末，電路裏任何一處的電流的量值都是 8 安。

假使圖 1.1 所表示的是電壓的曲線，橫坐標同上面一樣，表示時間的秒數，但是縱坐標表示電壓的伏特數，不是電流的安培數。

1.4 循環 循環或者週 (cycle) 是電路裏電流或者電壓一組周而復始的變更的量值。循環這個名詞可以用在電流上，也可以用在電壓上，我們可以說 50 循環的電流，也可以說 50 循環的電壓。圖 1.1 裏的曲線表示電流在一循環裏值量的變更。電流的一個完全循環，是電流在正的方向從 a 處的零值，漸漸增加，經過 b 處的最高值，減小到 c 處的零值；於是轉換方向，在負的方向，從零值漸漸增加，經過 d 處的最高值，再漸漸的減小，回到 e 處的零值。假使曲線所表示的是電壓波，那末，上面講的一組值量的變更，就是電壓的一個循環。電流或者電壓經過一個循環所需的時間叫做週期 (period)。圖 1.1 裏曲線所表示的交變電流或者電壓的週期是 $\frac{8}{400}$ 秒鐘，或者 $\frac{1}{50}$ 秒鐘。

1.5 頻率 每秒鐘裏的循環數叫做頻率 (frequency)。頻率或者每秒鐘循環數，也就是每秒鐘的週期數。圖 1.1 的曲線，假使是表示電流波的，那末經過一個循環所需的時間是 $\frac{1}{50}$ 秒鐘。在這一秒鐘裏，電流要經過 50 個這種周而復始的變更，或者說 50 個循環。所以這種交流叫做 50 循環電流或者每秒鐘 50 週

的電流。假使加到一個電路上的電壓，也有同樣周而復始的變更，這種交變電壓，叫做 50 循環電壓或者每秒鐘 50 週的電壓。加到電路上電壓的循環數和電路裏電流的循環數應當是相同的。平常用的頻率，大都是每秒鐘 50 和 25 週；每秒鐘 50 週的頻率用得尤多，電燈和電機都是用每秒鐘 50 週的頻率的。每秒鐘 25 週的頻率，大都用在電駛鐵道上。我國採用的頻率，也是每秒 50 週。

1.6 交變 一個交變(alternation)就是一個循環的一半。一個循環有兩個半波(half-wave)，每一個半波表示一個交變。圖 1.1 裏的半波 *abc* 或者 *cde* 表示一個交變。交流電路裏的電流或者電壓的頻率，以前是用每分鐘的交變數的。每秒鐘 50 週的頻率就是以前每分鐘 6,000 交變的頻率。

1.7 機工空間度 一個圓的圓周，可以分成功 360 個相等的部分。每一部分的圓周就是一度(degree)的弧(arc)，寫作 1° 。從弧的兩端到圓心作兩條直線，兩條直線所成的角就是 1° 的角。圖 1.2 是一個半圓，表示角的分法。矢徑線(radial line) *ob* 和 *oc* 所成的角 *a* 是 1° 的角。弧 *bc* 是 1° 的弧。弧 *de* 是 90° 的弧，也叫做對 90° 角 *doe* 的弧。同樣的講法，弧 *def* 是 180° 的弧，對 180° 的角，或者說一個半圓的弧。這種分度可以叫做機工空間度 (mechanical space degree)，或者簡稱空間度 (space degree)，以便在必要時，和電工計算上用的別種分度，有所區別。

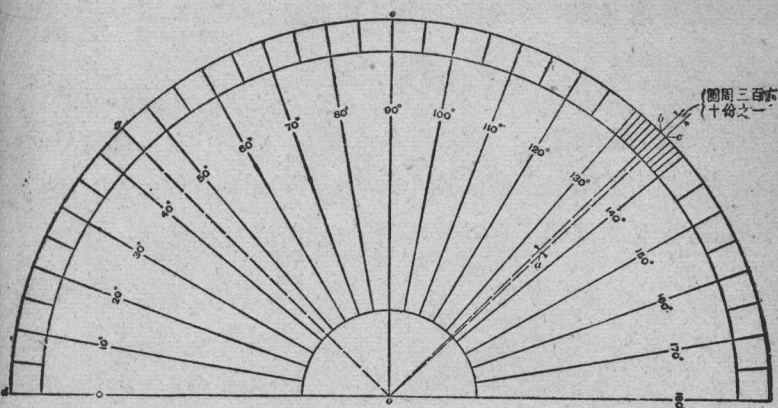


圖 1.2 角度的分法

1.8 電工時間度 完成一週或者一循環所需的時間，在習慣上，都是分成功 360 個相等的部分，叫做電工時間度 (electrical time degree)，或者簡稱時間度 (time degree)。在圖 1.1 裏，橫坐標是時間，但是用度數來表示的，所以，距離 ae 代表 360 時間度。橫坐標上的每一部分代表 45 時間度。零值以後 90 時間度的時候，電壓達到最高值，再過 90 時間度，就減到第二個零值。

最高值和相近的零值，相差終是 90 時間度，正的最高值和負的最高值相差 180 時間度；兩個連續的零值，相差也是 180 時間度。

一個時間度的量值，究竟合多少秒鐘，要看所用的頻率是什麼。若是頻率是 50，完成一週或者一循環所需的時間是 $\frac{1}{50}$ 秒

鐘。因為每週有 360 時間度，所以 1 時間度是 $\frac{1}{360} \times \frac{1}{50} = \frac{1}{18,000}$ 秒鐘。若是頻率是 25，每 1 時間度是 $\frac{1}{360} \times \frac{1}{25} = \frac{1}{9,000}$ 秒鐘。

1.9 電工空間度 一個交流發電機 (alternator) 轉動部分的運動，平常是用電工空間度 (electrical space degree) 來表示的。電機裏的轉動子 (rotor)，在一個時間度裏轉動一個電工

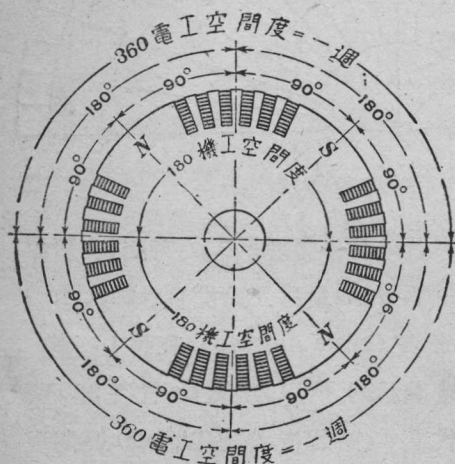


圖 1.3 一個四極轉動子的電工空間度和機工空間度的相對值

度，所以一週之中，轉動子經過 360 電工度。有兩個極 (two-pole) 的轉動子，1 電工度就等於 1 機工空間度；因為完成一週或者 360 電工度，轉動子一定要轉過 360 機工度或者完全的一轉。一個有四個極 (four-pole) 的轉動子，完成一週，轉動子只需半轉，或者經過 180 機工空間度。

在這個情形之下，1 電工度是等於 $\frac{1}{2}$ 機工空間度。圖 1.3 是用來表示一個四極轉動子電工空間度和機工空間度的相對值的。一個交流發電機無論有多少對的極，1 機工空間度裏的電工度數，就等於轉動子極的對數。圖 1.3 裏的轉動子有 2 對極，所以 1 機工空間度，等於 2 電工度。