

初級电工原理

(第四冊)

陸 鶴 壽 編

科技卫生出版社

初級电工原理

(第四册)

陸鶴壽編

科技卫生出版社

內 容 提 要

这是一本淺顯而容易看得懂的电工理論書籍，一方面可用來訓練新的工作人員，另一方面可作为有丰富工作經驗而缺少理論基礎的初級干部的自學資料。內容通俗易懂，適合有初級中學以上程度的讀者閱讀。

本書分四冊出版，有系統地介紹電和磁的基本原理和交直流电机的工作理論。体裁新穎，插圖丰富，每章附有复習題，对于學習都有幫助的。

第四冊內容包括：(1)交流電的多相制；(2)三相發電的原理；(3)交流發電机的結構和运用；(4)同步电动机；(5)感應电动机；(6)單相电动机；(7)交流电动机的控制和运用；(8)變壓器。

初 級 電 工 原 理

(第 四 冊)

陸 鶴 壽 編

科技卫生出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可證出033号

上海劳动印刷厂印刷 新华书店上海发行所总經售

*

开本 787×1092 1/32 印張 71/4 字數 160,000

(原交流科技版共印 52,520 冊)

1958年11月第1版 1958年11月第1版第1次印刷

印數1-40,000

統一書号: 15 · 107

定价: (10)0.90 元

目 錄

第二十四章 交流電的多相制..... 549

- | | | | |
|------------------------------|-----|-------------------|-----|
| 24-1 從單相發展到多相..... | 549 | 24-6 四線三相制..... | 564 |
| 24-2 多相制交流電的一瞥..... | 551 | 24-7 三線三相制..... | 569 |
| 24-3 二相制中的電壓、電流和
電功率..... | 553 | 24-8 三相制的電功率..... | 572 |
| 24-4 從二相制演變到三相制.. | 559 | 24-9 三相制的負荷..... | 574 |
| 24-5 三相制的基本概念..... | 561 | 24-10 複習題..... | 576 |

第二十五章 三相發電的原理..... 579

- | | | | |
|---------------------|-----|--------------------|-----|
| 25-1 交流發電機的概念..... | 579 | 25-5 從單相到三相..... | 591 |
| 25-2 旋轉電樞式的交流發電機 | 580 | 25-6 電壓和頻率..... | 594 |
| 25-3 簡單的旋轉磁場組織..... | 581 | 25-7 同步發電機的特性..... | 596 |
| 25-4 旋轉磁場方式的發電解釋 | 583 | 25-8 複習題..... | 597 |

第二十六章 交流發電機的結構和運用..... 599

- | | | | |
|--------------------|-----|-------------------|-----|
| 26-1 交流發電機結構的總介紹 | 599 | 26-6 簡單的定相方法..... | 616 |
| 26-2 定子的構造..... | 605 | 26-7 單相電路的整步..... | 617 |
| 26-3 轉子的構造..... | 611 | 26-8 三相發電機怎樣進行整步 | 618 |
| 26-4 結構上的其他問題..... | 614 | 26-9 負荷的分配..... | 620 |
| 26-5 交流發電機的並聯運用.. | 614 | 26-10 複習題..... | 621 |

第二十七章 同步電動機..... 622

- | | | | |
|--------------------|-----|--------------------|-----|
| 27-1 名符其實的電動機..... | 622 | 27-3 同步電動機的開動..... | 635 |
| 27-2 三相電流造成的旋轉磁場 | 625 | 27-4 牽入轉矩和牽出轉矩.... | 638 |

27-5	什麼是同步轉速.....	639
27-6	談談激磁問題.....	641
27-7	同步電動機的工作特性..	643

27-8	四種主要用途.....	643
27-9	複習題.....	645

第二十八章 感應電動機..... 646

28-1	什麼是感應電動機.....	646
28-2	結構上的說明.....	647
28-3	感應工作的基本原理....	651
28-4	同步轉速和轉差率.....	652
28-5	感應電動機的工作特性..	654
28-6	鼠籠式感應電動機.....	656
28-7	不同類型的鼠籠式電動機	657
28-8	談一談雙鼠籠式電動機..	661
28-9	鼠籠式電動機常用的開動 方法.....	664

28-10	鼠籠式電動機的應用最廣 泛.....	666
28-11	滑環式電動機的特徵....	667
28-12	滑環式電動機的開動....	668
28-13	滑環式電動機的用途....	669
28-14	轉速的控制.....	670
28-15	多轉速感應電動機.....	672
28-16	感應電動機的計算.....	673
28-17	複習題.....	675

第二十九章 單相電動機..... 677

29-1	單相電動機的特徵.....	677
29-2	單相電動機有那幾種....	678
29-3	分相感應電動機.....	679
29-4	電容器式感應電動機....	681
29-5	單相串激電動機.....	683
29-6	推斥式電動機.....	685

29-7	推斥開動式感應電動機..	686
29-8	推斥感應電動機.....	688
29-9	變速的單相電動機.....	690
29-10	單相電動機的計算.....	691
29-11	複習題.....	692

第三十章 交流電動機的控制和運用..... 694

30-1	為什麼要用控制器.....	694
30-2	主要的控制器.....	695
30-3	主要的保安設備.....	697
30-4	鼠籠式電動機用的人工開 動器.....	698

30-5	滑環式電動機用的人工開 動器.....	701
30-6	鼠籠式電動機的磁控制器	703
30-7	滑環式電動機的磁控制器	708
30-8	同步電動機的磁控制器..	708

30-9 改變轉動方向的方法.....	709	30-11 選用電動機的條件.....	711
30-10 拖動機器的幾種方法.....	710	30-12 複習題.....	714

第三十一章 變壓器..... 715

31-1 有一定任務的變壓器.....	715	31-7 什麼是自耦變壓器.....	727
31-2 變壓器理論的概念.....	716	31-8 變壓器的並聯運用.....	730
31-3 變壓器的電壓公式.....	718	31-9 變壓器的用途多.....	732
31-4 變壓器的比率.....	719	31-10 變壓器的型式.....	736
31-5 理想和實際的分界線.....	722	31-11 變壓器的構造情況.....	738
31-6 三相電路中的變壓器.....	723	31-12 複習題.....	746

附錄.....15

(4) 俄羅斯在電工方面的創造發明.....	15	(5) 開方乘方簡表.....	19
------------------------	----	-----------------	----

第二十四章

交流電的多相制

24-1 從單相發展到多相

本書第二冊中所介紹的交流電是單相的，連第三冊所解釋的發電原理亦屬於單相性質的，因為照「相」的定義曉得，這種電路在任何一個瞬時只有一個交流電壓或電流存在。

實際說來，單相交流電對於我們很是便當，亦就很感到滿意。發電廠只要有兩條電線接到那裏，那裏就可以點電燈，並且要點多少盞就可以點多少盞，不受限制。我們要取暖，可以把電爐的兩個線頭（就是插頭上的兩個金屬片）插到電源插座上就行了；我們要用電風扇、電冰箱、收音機或其他一切家用電器，亦只要單相交流電就可以達到目的。這些都可以證明：單相制交流電對於電的生活資料完全是適宜的。為什麼還去找麻煩發展多相制呢？

第一點值得我們重視的是經濟建設方面，特別是工業建設方面存在的用電問題。工業能夠發展到今日的程度，主要的因素是生產資料能夠從機械化進一步達到電氣化的地步。這裏的控制因素就是「經濟」問題。難道單相制交流電就不經濟嗎？在十九世紀，我們可以肯定回答單相制交流電是很經濟的，因為那時

剛從蒸汽動力發展到電的動力。但是到了二十世紀的下半世紀，以今日的工業規模來說，單相制交流電是遠遠地落後於生產「經濟化」的要求，特別在動力量逐漸上升後，更顯得單相制交流電是不能滿足生產上的需要。三相交流電在多方面都比較單相制好，有它無可否認的優越性，因之採用三相制最符合於經濟原則的。

在電機的製造方面以及銅鐵金屬的利用率方面，都是以三相制最是經濟實惠。三相以上的電機製造費用太高昂，而收獲的額外利益很少，所以它們無立腳之地。當電機的容量愈來愈大和服務區域愈來愈廣時，這個因素就有着決定性的重要意義。單相電機是望塵莫及的。

現在最是流行的，而製造又特別簡單經濟的感應電動機，就要利用三相交流電來工作。一般電動機在單相交流電上很難自動開動（就是必須加配其他的開動設備），並且因之而使它的構造複雜而不堅固。這一點亦是支持三相制的有力因素。

這種三相制交流電的技術是由多里奧·多勃洛沃爾斯基所發展成功的，並且亦是他首先把三相制應用到工業生產上；他還發明了多種重要的三相電機。

所以，交流電從單相制發展到多相制（特別是三相制），是完全必要的，亦就符合於科學的進步規律。

24-2 多相制交流電的一瞥

多相制交流電是從二相制發展到三相制的。恰如上述，三相制是在多方面感到滿意的一種，所以二相制反而「退避三舍」了。

在介紹多相發電方法以前，我們需要先明確一下交流發電的原則。本來，發電的基本理論是電磁感應，而應用電磁感應原理工作的情况，早在第十六章圖 16-1 到 16-9 介紹過。這裏應用的是滑環，不像直流發電機那樣要用換向器把交流性質的電壓改變成直流的。所以交流發電和直流發電的差別就在於用滑環，還是用換向器，不必「另起爐灶」來談交流發電的基本方法了。

交流電有了三相制以後，差不多所有的發電設備都是三相的，單相的交流發電機幾乎是「絕無僅有」了。那末我們用來點電燈等許多用途的單相交流電又是從那裏來的呢？簡單說起來，三相交流發電機實際上是三座單相交流發電機合併組成的，不但三相電壓可以同時用到一座電動機上，單相電壓亦可以個別的、獨立的加以應用。這句話怎樣說呢？譬如：一個城市中有了一座三相發電機後，對於工業用電，需要將三相電壓全部輸送到工業用戶，但是對於所有的電燈用戶，則只要饋送一相電壓去就行了，於是城東送去第一相電壓，城南和城北是第二相，城西是第三相。這種多樣性的輸電方法，理論上和實踐上都證明是可能的。在這種情形之下，單相發電原理主要是用來說明交流發電的基本原則。

今日的交流發電機有兩種型式，就是旋轉電樞式(圖 24-1)和

旋轉磁場式(圖 24-2),其中以後一種最是常用。旋轉電樞式交流發電機像直流發電機,它的磁場是固定不動的,電樞或交流繞

組是旋轉的部分。交流電流是經滑環和電刷流出的。

由於在高的電壓,不容易對滑環和電刷絕緣,同時在大電流時還需要多數的電刷,這一種程式遂只適用在[低電壓]和[小電流]的交流發電機中。

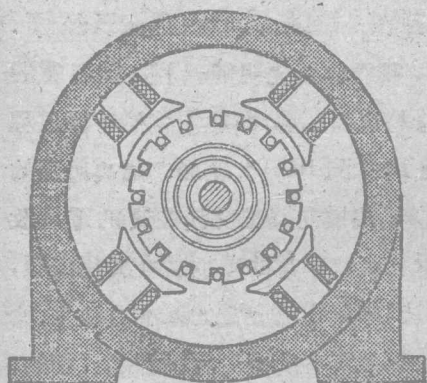


圖 24-1 旋轉電樞式交流發電機結構略圖。

中將電樞固定起來,而使磁場旋轉。所有滑環和電刷仍舊需要的,

但是它們只供應低電壓的直流激磁電流給磁場繞組,所以可以避免上述的絕緣困難,電刷的數目亦可以減少。爲了這個原故,在交流發電機中,我們用轉子這個名詞代表旋轉的部分,而用定子這個名詞表示固定不動的部分。這樣就可以

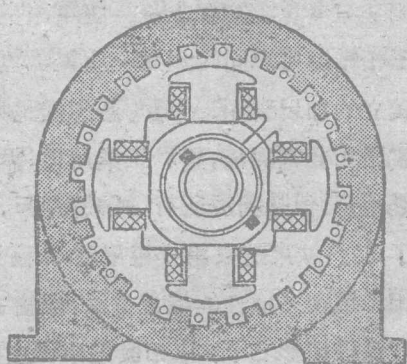


圖 24-2 旋轉磁場式交流發電機結構略圖。

避免電樞和磁場位置互易時發生不必要的誤會。

24-3 二相制中的電壓、電流和電功率

在二相制中，兩個電壓間保持着 90° 度相位差，如圖 24-3 所示。我們在這裏可以認為這是可能的，不必先去討論發電機怎樣產生這種性質的電壓，因為以後會詳細加以說明的。

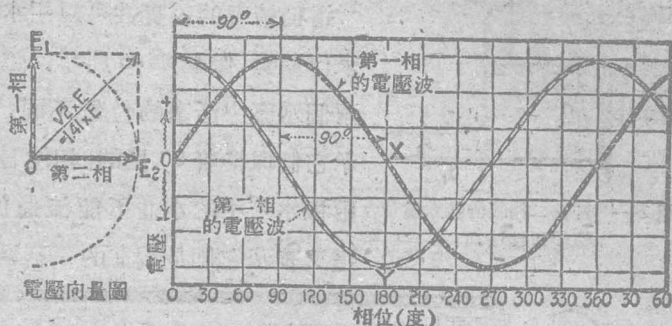


圖 24-3 二相制中的電壓向量和波形圖。

當一座發電機能够發出兩個電壓來時，它的輸出方法可以有兩種不同的形式，第一種是四線制，如圖 24-4 所示；另一種是三線制，如圖 24-6 所示。圖中的線圈符號代表電樞的繞組，負責電壓的感應。兩個線圈排列得互成直角，表示它們之間有着 90° 度的相角差。以後我們常用這種畫法來表示各個繞組間的相位關係，而不加標記註字。這一點特地先加說明。

四線二相制在電機的內外都沒有聯接，所以兩個相的繞組是各自獨立的，像圖 24-4 所示。這裏每一個電樞全部繞組所感應的電壓用 E_c 來代表，而輸出線路上的電壓則都是 E_L 。為了便於說明，這裏兩個獨立的電路接上同量的負荷，於是每個電路都

供應同量的負荷電流 I_L 。發電機電樞繞組中的電流就應該各是 I_C 。所以，在每一個電路中，亦就是每一相中，

$$E_C = E_L \text{ 伏} \quad (24-1)$$

和 $I_C = I_L \text{ 安} \quad (24-2)$

這種情況的現實性可以用水管來作譬喻，像圖 24-5 所示。這裏兩個水泵中活塞的位置不同，表示它們保持着 90 度的[相位]差。兩根水管中的水並不能流通的，這又表示它們是獨立的。不過兩

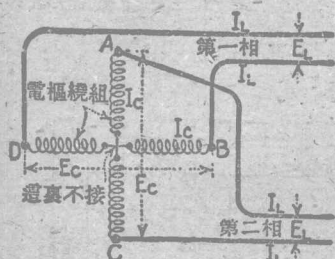


圖 24-4 四線二相制的基本電樞繞組接法。



圖 24-5 四線二相制的水管譬喻。

個水泵是用齒輪同時用一座原動機帶動的，這就使水泵能够按着規定的節拍推動水在水管中來回流動。

三線二相制的基本電機接法可見圖 24-6。這裏每一組電樞繞組亦是由兩個部分組成的，而每

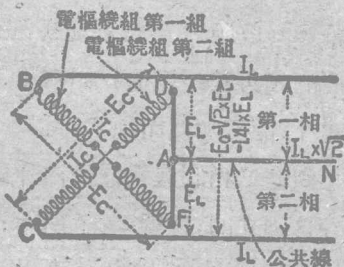


圖 24-6 三線二相制的基本電樞繞組接法。

一組所感應的總電壓同樣是 E_C 。在輸出電路上，省去了一條饋電線，在線料的節約上，這個辦法是有可取之處，顯然比較四線制優越。但是這樣一來就使得整個情況複雜得多，因為兩個電路已經接通了。現在，除在第一相和第二相間可以取得電壓外，在兩根外線（就是非公共線）間亦可以獲得另外一個電壓。這個新電壓並不獨立存在，因而與兩相電壓保持着一定的關係。應該指出，這種三線制在三相電路中有着頭等重要的實際意義，而這裏只用來表示這種接法的可能性和它的基本形式。

假使我們用 E_0 來代表三線二相制中的兩條外線間的電壓，而仍用 E_L 代表任何一相的輸出電壓，那末看一看圖 24-6 可以明確的提醒我們一個極重要的關鍵，就是在多相電路中，各個電壓都是向量，因之它們不能用一般的算學方式相加起來，而須用三角學方式來加減。當兩相電路上的負荷是相等時，這兩個相的電壓一定都是相等，而都是 E_L 。所以（看圖 24-6），

$$E_0 = \sqrt{2} E_L = 1.41 E_L \text{ 伏} \quad (24-3)$$

在這圖 24-6 中，還可以注意到公共線 AN 上的電流。本來兩條外線上流通的 I_L 就是電樞中的電流 I_C ，公共線 AN 上流行的必定就是兩個電樞中電流的總和。注意呀！這兩個電流間亦存在着 90 度相位差，因為我們假定兩相上的負荷是相等的，並且這裏更使負荷是電阻性質的。在這種情形之下，公共線 AN 上的電流亦成為外線電流 I_L 的 1.41 倍了，寫成公式就是

$$I_N = \sqrt{2} I_L = 1.41 I_L \text{ 安} \quad (24-4)$$

最後我們寫出電樞電路和外電路間的電壓和電流關係。

$$E_L = E_C \text{ 伏} \quad (24-1')$$

$$I_L = I_C \text{ 安} \quad (24-2')$$

這些關係仍和四線二相制一樣的。

從公式 24-3 和 24-4 可以看到：三線二相制中，外線間的電壓比較各相電壓高，而公共線上的電流亦一定高於任何外線上的電流。在負荷相等時，差額就是 1.41 倍。

【例】在三線二相制中，每一相的電壓是 220 伏，如果公共線上的電流是 50 安時，求(1)每一相的電流是多少？(2)外線間的電壓是多少？兩相上的負荷是相等的。

【解】已知 $E_L = 220$ 伏， $I_N = 50$ 安，求 $E_o = ?$ 和 $I_L = ?$ 代入公式 24-3 得

$$E_o = 1.41 \times 220 = 310.2 \text{ 伏}$$

代入公式 24-4 得

$$I_L = \frac{50}{1.41} = 35.35 \text{ 安}$$

三線二相制亦可以用水管的情況來對照比較，圖 24-7 就是一例。我們應該特別注意，公共水管中接受的水來自兩個水泵，由

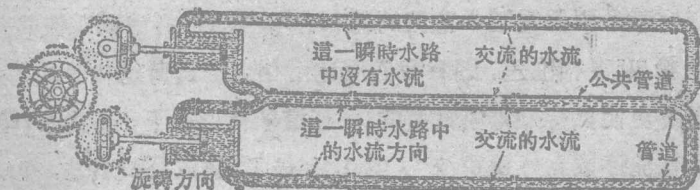


圖 24-7 三線二相制的水管譬喻。

於兩個活塞來回的位置有差別，公共水管中的水還是遵守公式 24-4 的。

二相制既然有兩種，那末負荷應該怎樣配接呢？如果我們有一座二相電動機和許多電燈，很顯然電燈是單相性質的負荷，應該平均分配在兩相的輸出線上。這種情況可以看圖 24-8 和 24-9。圖中二相發電機用滑環和電刷來表示，以後我們就用這種符號；我們還要注意電壓表和電流表的接法，如果接得不對，就無法獲

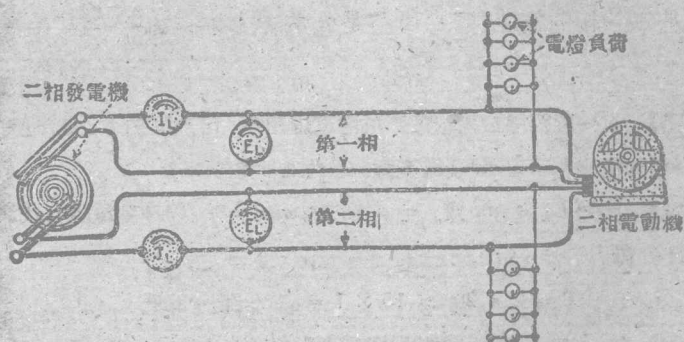


圖 24-8 四線二相制的負荷接法。

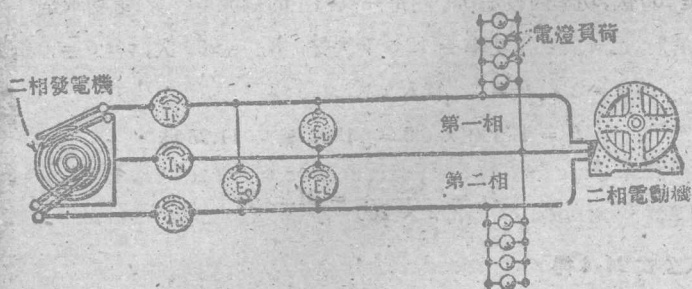


圖 24-9 三線二相制的負荷接法。

得正確的答案。這裏輸出線條多，不像單相電路那樣簡單；三線二相制，偶而不慎必然要燒毀負荷。這是對待多相制應該警惕的一點。

二相制中的電功率就是兩個相電路上電功率的總和，所於平衡負荷的電路，不論是四線的還是三線的，都等於

$$P = 2E_L I_L \cos \theta \text{ 瓦} \quad (24-5)$$

式中： P 是二相制的總電功率(瓦)； E_L 是每一相間的電壓(伏)； I_L 是每一相的電流(安)，但不是公共線上的電流； $\cos \theta$ 是功率因數。

【例】有一個四線二相制電路供應電燈用電，已知電壓 E_L 是 200 伏，每一相的電流是 15 安，問發電機應該供應多少電功率？

【解】已知 $E_L = 200$ 伏， $I_L = 15$ 安， $\cos \theta = 1$ (因是純電阻)，代入公式 24-5 得

$$P = 2 \times 200 \times 15 \times 1 = 6000 \text{ 瓦} = 6 \text{ 瓩}$$

【例】有一座三線二相制的發電機共計供應 12.5 千伏安，每一相間的電壓是 200 伏，功率因數是 0.9，問每一條線上的電流是多少？電功率是多少？

【解】已知視在電功率 = 12.5 千伏安， $E_L = 200$ 伏， $\cos \theta = 0.9$ ， $I_L = ?$ 、 $I_N = ?$ 和 $P = ?$ 。代入公式 24-5 得

$$P = 12500 \times 0.9 = 11250 \text{ 瓦} = 11.25 \text{ 瓩}$$

$$I_L = \frac{11250}{2 \times 200} = 31.25 \text{ 安}$$

代入公式 24-4 得

$$I_N = 31.25 \times 1.41 = 39.2 \text{ 安}$$

果我們要用瓦特表去實地測量電路中的電功率，接線起來要慎重。瓦特表可以照圖 24-10 聯接。這裏，總電功率是瓦特表指示的讀數的總數。如果電路是平衡的，只要用一特表就可以測出總電功率，這是將瓦特表的讀數乘 2 而得。對於不平衡的電路，就必須採用圖示的方法用兩只瓦特表

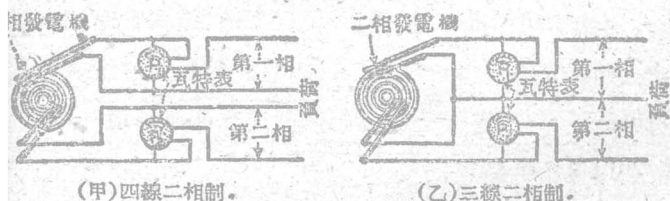


圖 24-10 瓦特表的接法。

24-4 從二相制演變到三相制

我們談了許多關於二相制交流電，事實上我們很少機會遇到這種二相電路。這種二相電路只在交流電的發展過程中，擔任了一段的任務，發揮了一定的作用。它幾乎很快的被三相制淘汰。我們這裏介紹二相制交流電並不是談歷史問題，而是用它來解釋交流電的多相制。這樣做，對於多相制的基本概念，就容易搞清楚，特別對於三相制交流電的基本精神容易理解。至少限度，這種逐步演證的方法對於問題的本質得到明瞭和系統化的好處。

究竟二相制對於多相制，特別是三相制，發生了什麼啓