

初級电工原理

(第二冊)

陸鶴壽編

科學技術出版社

初級电工原理

(第二册)

陸鶴壽編

武汉中南民院圖書館

科学技術出版社

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，適合有初級中學左右程度的讀者閱讀。

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。

第二冊內容包括：(1)电磁感应；(2)自感和互感；(3)交流電的基礎；(4)交流電的向量計算；(5)交流电路中的电阻和电感；(6)交流电路中的电容；(7)簡單的交流电路；(8)交流电路的电功率。

初 級 电 工 原 理

(第二冊)

編 者 陸 鶴 壽

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海建國西路336弄1号)

上海市書刊出版業營業許可証出○七九号

上海新華印刷厂印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号：15119·106

(原交流版印14,000冊)

开本 787×1092 耗 1/32·印張 6 15/16·字數 138,000

一九五六年三月第一版

一九五六年九月第三次印刷·印數 10,021—20,020

定價：(10)九 角

目 錄

第八章 電磁感應..... 175

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| 8-1 什麼是電磁感應.....175 | 8-6 那些因素對感應電動勢有
影響.....185 |
| 8-2 感應電動勢的原則.....176 | 8-7 替感應電動勢算一算.....188 |
| 8-3 產生電動勢的簡單形式.....177 | 8-8 電磁感應的實際應用.....191 |
| 8-4 應用方便的右手定則.....179 | 8-9 複習題.....192 |
| 8-5 從力的問題談楞次定律.....180 | |

第九章 自感和互感..... 194

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 9-1 變動磁通的圍地.....194 | 區別.....202 |
| 9-2 一個變動磁通實例的分析.....194 | 9-7 自感應是怎樣產生的.....203 |
| 9-3 互感應是什麼.....196 | 9-8 電感的意義和單位.....205 |
| 9-4 集中性質的互感應電路.....197 | 9-9 自感的計算.....206 |
| 9-5 互感應作用下的磁場和
電流.....199 | 9-10 互感的計算.....211 |
| 9-6 自感應和互感應有什麼 | 9-11 討厭的感應現象.....212 |
| | 9-12 複習題.....213 |

第十章 交流電的基礎..... 217

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| 10-1 交流電是很重要的.....217 | 10-9 最有用的有效值.....231 |
| 10-2 週波和頻率.....218 | 10-10 介紹平均值.....232 |
| 10-3 波長問題.....221 | 10-11 交流電波數值間的關係.....233 |
| 10-4 什麼是電角度.....223 | 10-12 交流電波在什麼基礎上
比較的.....234 |
| 10-5 談相.....225 | 10-13 相位角的引前和落後.....236 |
| 10-6 交流電波的有用數值.....228 | 10-14 複習題.....238 |
| 10-7 與電角有關的瞬時值.....229 | |
| 10-8 什麼是巔值.....230 | |

第十一章 交流電的向量計算..... 240

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| 11-1 實用的交流電表示法.....240 | 11-10 二個不同相電壓向量的
加法.....257 |
| 11-2 什麼是向量呢.....241 | 11-11 二個反相電壓向量的加法..259 |
| 11-3 會旋轉的向量.....242 | 11-12 二個不同相電壓向量的
減法.....260 |
| 11-4 向量和相角的關係.....244 | 11-13 從向量計算談到交流電的計
算.....263 |
| 11-5 不旋轉的向量.....245 | 11-14 複習題.....264 |
| 11-6 向量的合併.....246 | |
| 11-7 向量的分析.....249 | |
| 11-8 向量可以加和減嗎.....253 | |
| 11-9 二個同相電壓向量的加法..255 | |

第十二章 交流電路中的電阻和電感..... 267

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 12-1 什麼影響了交流電流.....267 | 12-9 電阻和電感同時存在的
電路.....281 |
| 12-2 交流電路中只有電阻存在..269 | 12-10 電抗.....283 |
| 12-3 通過單純電阻的電流.....271 | 12-11 電壓的計算.....285 |
| 12-4 交流電路中的電感有什
麼影響.....273 | 12-12 相角的計算.....287 |
| 12-5 單純電感電路的相位關係..273 | 12-13 電阻和感抗組成的阻抗...289 |
| 12-6 計算電感的反電動勢.....276 | 12-14 從阻抗求相角.....292 |
| 12-7 什麼是皮膚作用.....277 | 12-15 歐姆定律的應用.....293 |
| 12-8 談一談電源電壓和反電
動勢的關係.....279 | 12-16 全面的計算.....294 |
| | 12-17 複習題.....299 |

第十三章 交流電路中的電容..... 303

- | | |
|------------------------|-----------------------------------|
| 13-1 靜電是電容的基礎.....303 | 13-7 電容器的串聯.....314 |
| 13-2 電容器的工作原理.....305 | 13-8 電容器的並聯.....316 |
| 13-3 交流電壓加上電容器.....308 | 13-9 電容器的電壓定額.....318 |
| 13-4 電容對抗電壓的變化.....309 | 13-10 潛佈電容問題.....319 |
| 13-5 什麼因素決定電容.....311 | 13-11 從波形圖看電容在交流
電路的作用.....321 |
| 13-6 電容器有什麼損失.....313 | |

13-12 電容的反電動勢.....	323
13-13 電容的電抗.....	325

13-14 實際電容器的簡述.....	327
13-15 複習題.....	329

第十四章 簡單的交流電路..... 332

14-1 簡單交流電路的組成.....	332
14-2 電容配上了電阻.....	333
14-3 電路中祇有電抗.....	335
14-4 花色俱全的阻抗.....	337
14-5 完整的歐姆定律.....	340
14-6 什麼是Q和損耗因數.....	343
14-7 並聯電路的特點是什麼.....	345

14-8 電阻和電抗並聯.....	348
14-9 電阻、電感和電容的並聯.....	350
14-10 從電抗的串聯或並聯略 談諧振.....	352
14-11 複式電路.....	356
14-12 複習題.....	358

第十五章 交流電路的電功率..... 362

15-1 從直流電路到交流電路.....	362
15-2 電流和電壓同相時的情況.....	363
15-3 電流和電壓不同相時的 情況.....	365
15-4 什麼是功率因數.....	371

15-5 低的功率因數.....	374
15-6 電功率向量圖.....	374
15-7 無功電流有什麼作用.....	375
15-8 複習題.....	376

附錄..... 9

3. 三角函數表.....	9
---------------	---

第八章

電磁感應

8-1 什麼是電磁感應

在第六章中，我們談了許多由於電流而產生磁場的道理。這種現象實際上有一定的意義，但是在它的效用上也有一定的限度。換句話說，我們只是從靜電深入了一步，證明電子的流動才有磁效應的發生。有了磁場又怎樣呢？它怎樣會對我們的生產有貢獻呢？這些類型的問題，經過許多科學家累積了勞動的經驗，總結出了一條基本規律來，可以發展成今日一切電機的基本工作原理。所以這是一條極端重要的原理，亦是這一章的中心內容。

靜電有感應作用，磁亦有感應作用。這些感應作用是不是我們現在所要介紹的呢？不是的。如果我們單獨解釋「感應」兩字，那末在任何一種情況下都有相同的意義。電磁感應却是進一步從第六章的基本原則，加進了「運動」這一個因素，造成磁和電兩方面的感應作用來。意思就是，「電」加上了「運動」，可以感應而得到「磁」的作用；同樣的，「磁」加上了「運動」，可以感應而得到「電」的效應。實踐起來，前一種——電生磁——是電動機的工作法則，後一種——磁生電——則是發電機的工作法則。這裏

[運動]是一種主要的和有決定性意義的因素，絕對不能缺少的。

說到[運動]，我們就該聯想到這運動是那裏來的。在這本書的許多說明中，看不見運動的形式，對於運動的源泉就容易模糊起來。實際上呢，在磁生電的情況中，由原動機供應了必需的機械能量，因而發生運動；在電生磁的情況中，電能還原成機械能，並且亦以運動的形式出現。這裏包涵着一種重要的關係，就是實際的電磁感應不過是機械能和電能的變換，因之電機的發電和推動機器亦不例外。這一點在第四章中已有說明，這裏不再贅述了。不過我們對於這個問題的基本觀念還是應該搞清楚的。

8-2 感應電動勢的原則

照以前我們談的理論知道，一個電路中要有電流通行，首先要有電動勢，譬如發電機就是產生電動勢的一種機器。在電磁感應的範疇中，我們可以把通電流的導體在磁場中運動，利用磁的效應在相鄰的導體內產生電動勢。只要這個相鄰的導體聯成了一個通路後，電流就會流行起來。

關於導體在磁場內運動的條件是很重要的，意思就是，導體一定要割切磁力線後，才能感應出電動勢來。要達到這個目的，常用的方法有二種，就是：(1) 磁場不動，導體在運動中割切磁力線，(2) 導體不動，運動磁場的磁力線切過導體。這二種情況可以看圖8-4。如果我們將[導體割切磁力線]的意義推廣一下，那

末，即使導體不動，磁場不移動，而只將磁通的密度改變一下，亦可以獲得同樣的效果。

磁場是那裏來的，我們沒有說明過，實際上這個對於電磁感應的作用沒有關係的。永久磁鐵能夠產生均勻的磁場，電磁鐵亦有同樣的作用，它們亦就同樣的可用來產生感應電動勢。

8-3 產生電動勢的簡單形式

用電磁感應的方法產生電動勢是很重要的。現在先看圖 8-1。這裏磁場的磁力線是永久磁鐵產生的，由 N 極面出來，進入 S 極面。在 N 極和 S 極的空隙中，導體可以上下移動，切過磁

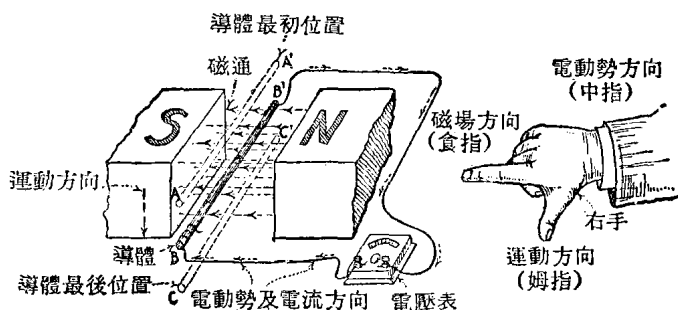


圖 8-1 割切磁力線產生電動勢。

力線，圖中導體最初的位置是 AA' ，向下移動，經過 BB' 位置而到 CC' 位置。在這樣一個單程運動中，就是導體從 AA' 到 CC' ，空隙內的磁力線是被割切了，顯然在導體內感應出一個電動勢，用電壓表來測量一下，表上就會指示出一定的電壓值來。這就是我們介紹過的第一種方法。

如果現在把導體固定在 AA' 位置，而只把二塊磁極，照上述的導體運動的速度，向上移動。磁力線必然跟着上升，最後導體又佔據了相對的 CC' 位置。這時電壓表不但有指示，指針的位置亦同上面的情形一樣。這個簡單的實驗，就是產生感應電動勢的第二種方法。

這種簡單的電磁感應實驗告訴我們二種不同方法都可以產生電動勢。不過這個感應電動勢的方向，是不是有一定的規律性呢？有的，它的方向是由二項主要的因素來決定的，就是磁力線的方向和運動的方向。這三種方向是互相關連着的，只要其中有一種改變，必有另一種方向亦受到影響而改變。這種相互關係可以用圖 8-2 表示。這裏三種方向總是互成直角，各差 90° 。

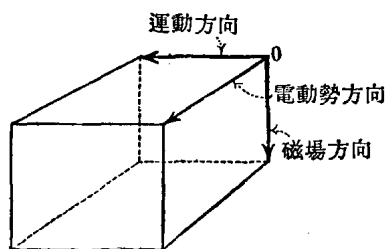


圖 8-2 電磁感應中，電動勢、磁力線和運動三種方向的關係圖。

如果一種方向變了，其他一種方向亦變，不過在 0 點，這三種方向關係總是如此的。假使我們有一塊方木塊照這樣標明三種方向後，那末這木塊不論如何放置去配合二種方向，其他一種方向一看就可知

道的，絕無例外。

回看圖 8-1，這裏磁力線的方向是固定的，亦就是從右到左，現在導體是從上向下運動，所以電動勢的方向是 B 到 B' 。當導體從下向上運動（即由 CC' 位置上移到 AA' 位置）時，電動勢的

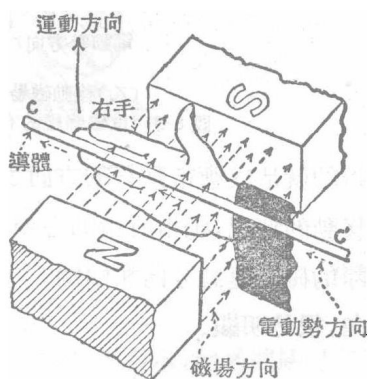
方向必然改成自 B' 到 B 了。這種關係用圖 8-2 的方塊一試就可以證明它的正確性。

當磁場移動而割切導體時，上述的關係仍是正確的，不過「運動方向」不能改來代表磁場的運動方向，它仍應代表「相當的」導體運動方向。所以磁場上移相當於導體向下動，磁場下移亦就等於導體向上動了。

8-4 應用方便的右手定則

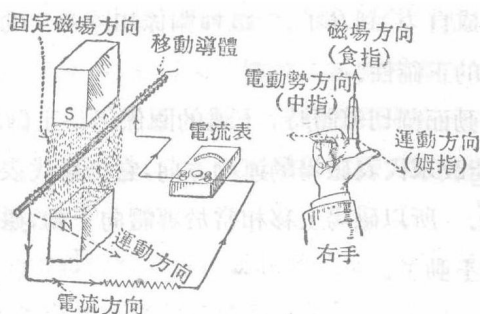
上面介紹的定向方法應用起來並不廣泛，所以這裏需要再介紹用右手的手指來確定三種方向間的關係。這就是電磁感應的右手定則，它一共有二種形式，都很實用。

第一種右手定則可見圖 8-3。這裏是順沿着導體伸出右手，將各手指伸直，手掌張開朝着北極，使手掌面接受北極發出的磁力線，如果姆指所指的是導體的運動方向，各手指所指的就是感應電動勢的方向。



第二種右手定則可見圖 8-4 (甲)。這裏是伸出右手的姆指、食指和中指，使這三個指頭

互成直角，並使姆指指示運動方向，食指指示磁力線方向，中指



(甲) 固定磁場，移動導體。



(乙) 移動磁場，固定導體。

圖 8-4 電磁感應的右手定則的第二式。

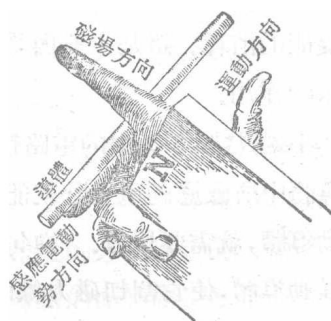
所指的就是感應電動勢的方向了。圖 8-4 (乙) 是導體固定而磁場移動的情況，姆指所指的必須是 L 相當的導體運動方向，恰和實際的磁場運動方向相顛倒。圖 8-5 是單獨用右手表示三種方向，很是明顯。

8-5 從力的問題談楞次定律

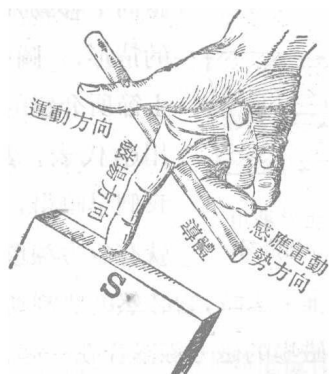
一根導體在磁場中運動是否需要力呢？這個問題需要詳細地解釋一番。



(甲)正面圖。



(乙)反面圖。



(丙)電流和磁場方向顛倒。

圖 8-5 右手定則。

在任何一個電磁感應電路中，像圖 8-1 所示，如果開關是打開的，電路中就沒有電流流行。這種情況只在沒有渦流存在時才算正確，我們所有的說明亦都是如此假設的，否則情況就太複雜了。在這種情形之下，在磁場中移動一個導體（屬於非磁性材

料)並不需要力的,換句話說,在導體中感應一個電動勢並不需要能的消耗。這是主要因為磁極和非磁性物質間沒有吸引和排斥的作用。

不過,當圖 8-1 中的電路接通時,導體已經和外部的電路接合,導體中所感應的電動勢就能推動電流的流行。這時在磁場中移動導體,就需要用力。換句話說,感應電流存在時,就需要力去推動導體,使它割切磁力線而感應一個電動勢。有了這個電動勢才能有電流。為什麼呢?我們可以看圖 8-6,這是圖 8-1 中導

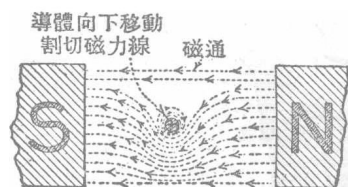


圖 8-6 通電流的導體在磁場中運動的磁力線分佈情況。

體向下移動,而外部電路又接通的情形。圖中電流的方向是用上節所介紹的右手定則求出的,用 $\otimes$ 代表,表示向紙面內流。我們早曉得,導體通過電流後,就有磁力線環繞着導體。當這

樣的導體向磁場內推下去時,它必然的要割切磁力線。這時導體的磁力線和固定磁場的磁力線匯合在一起,但是導體各方面磁力線方向和固定磁場的方向並不完全相同。從圖 8-6 可以看出,導體上部的磁力線方向相反,起着互相抵銷的作用,使有效磁場減弱;但是在導體的下部,情形恰巧相反,磁力線的方向相同,使磁場的密度大增,並且發生畸變。結果,導體下部的磁力線完全像一根一根的牛皮筋,有着向上彈回而恢復原狀的作用,亦可以說它是力的具體形態。我們要求的是導體向下移動,現

在磁場發出強的反抗力量。結果呢？導體是向下移了，但是力量亦化費了不少，方才克服組合磁場的反抗力。這正說明為什麼感應電流產生後，移動導體要化費力的緣故。

歸納的說起來，電磁感應作用下產生的電動勢，在電路接通後，就有感應電流的產生。但是一旦這個感應電流存在時，導體的周圍就有了磁力線，它的方向是由電流的方向決定的，它的作用却是反抗導體的向下移動。因之導體的運動就需要用力了。至於以後的情形，則可以循環性地推論下去，不必細述。

電磁感應的這個規律性道理，早已有科學家確定下來，並把它寫成一條有用的定律，就是楞次定律。楞次定律有不同的表明方式，這裏寫出三種，文字雖不同，意義却是完全一致的。

楞次定律：感應電流所取的方向，總使它的磁場作用反對那產生感應電流的運動。或

感應電流的方向，恰使它的磁場反抗原來磁場的任何改變。或

感應電動勢的方向，總使它所產生的電流阻止這個電動勢的出現。

為了更好地說明楞次定律的意義，不妨再看一看圖 8-7。這裏是在線圈內部插入條形磁鐵，使在線圈裏感應一個電動勢，推動電流流到外部電路去。在這種情形之下，插入磁鐵需要一定數量的力。原因是這樣：當磁鐵插入時，線圈上部受到了感應電流在一定方向流動的關係，產生一個 S 極，恰和磁鐵下端的極性

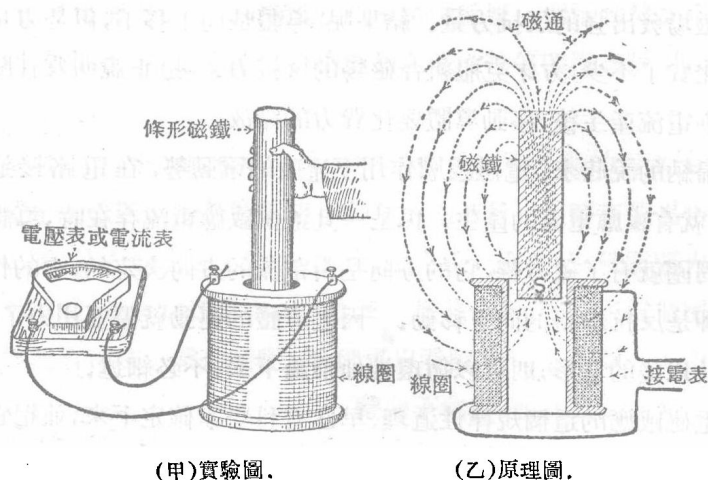


圖 8-7 電磁感應的一例。

相同。本來磁鐵是同性相斥的，插入磁鐵就顯然的需要用力去克服磁極間的斥力。

從線圈裏抽出條形磁鐵時，運動的方向反了，感應電流的方向必然顛倒，使得線圈上部的極性變成N極。這種方向的改變可以用已經介紹過的定律來肯定下來，並不困難的。線圈的N極對於磁鐵的S極是緊緊地互相吸引着，換句話說，這時線圈已拉着磁鐵不放，必須用力去拔，才能抵銷吸力抽出磁鐵。

假使線圈不接到外部的電路，由於感應電流的消失，亦就不能使線圈產生磁性。這裏既沒有吸力或斥力，要力何用呢？

關於電磁感應中用力的條件和必要性，已經一再說明了，但是這個力應該是多大的，或要做多少功才能達到目的，還待解釋一

下。本來一條接通的電路需要多少電流，可以參照歐姆定律從電壓和電阻的數值來決定。在電磁感應中，感應電動勢的數值是可以計算的，計算方法下面就要介紹了。剩下的電阻數值可以算是唯一的因素，影響電流的大小。有了電壓、電流和電阻三項數值，這個電路所消耗的（或需要的）電功率就可以信手算來，不費吹毛之力。運動時所需的是機械能，這可根據電功率換算得出（假定這裏沒有其他的消耗），亦很簡單。

【例】 發電機發出的電壓是 220 伏，而外部電路的電阻是 2 歐，問推動這座發電機需要多少力？

【解】 根據歐姆定律算出電流得

$$\text{電流} = \frac{\text{電壓(伏)}}{\text{電阻(歐)}} = \frac{220}{2} = 110 \text{ 安培}$$

電功率 = 電壓 × 電流 = $220 \times 110 = 24200$ 瓦特 = 24.2 瓩
變換成機械功率是

$$\text{機械功率} = \frac{\text{電功率(瓩)}}{0.736} = \frac{24.2}{0.736} = 32.88 \text{ 千匹馬力}$$

8-6 那些因素對感應電動勢有影響

電磁感應作用中，有導體，有磁場，還有運動。總的說起來，感應電動勢的強度，必然和割切磁力線的〔速率〕有關。在規定的時間內，割切的磁力線數目愈多，導體中感應的電動勢亦將愈大。所以，凡是能夠增加割切磁力線速率的因素，對於感應電動勢的增強，都有幫助的。我們可以列出下面四點作為提高感應電動勢的因素。