

大學用書選譯

基本電工學

(上 冊)

盛 慶 珠 譯

教 育 部 出 版
正 中 書 局 印 行

大學用書選譯

基本電工學

正中書局印行
教育部出版

盛慶球譯
A. E. Fitzgerald等著

大學用書選譯

基本電工學
(下)

盛慶
A. E. Fitzgerald
等
珠譯
著

正中書局印行
教育部出版



版權所有 翻印必究

中華民國五十八年三月臺初版
中華民國六十年九月臺三版

大學用
書選譯 基本電工學 (全二冊)

(BASIC ELECTRICAL ENGINEERING
CIRCUITS MACHINES ELECTRONICS CONTROL)

上冊 基本定價貳元壹角

(外埠酌加運費運費)

著 者 A. E. Fitzgerald 等
譯 者 盛 慶 球
出 版 者 教 育 部
印 刷 發 行 正 中 書 局

臺灣臺北市衡陽路二十號

(暫遷南昌路一段十二號)

發 行 人 李 潔
海 外 總 經 銷 集 成 圖 書 公 司

(香港九龍亞皆老街一一一號)

海 風 書 店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

內政部登記證 內版臺業字第〇六七八號(1000) 化



版權所有

翻印必究

中華民國五十八年三月臺初版

中華民國六十一年二月臺三版

大學用
審選譯 基本電工學 (全二冊)

BASIC ELECTRICAL ENGINEERING
(CIRCUITS MACHINES ELECTRONICS CONTROL)

下 冊 基本定價 二元二角

(外埠酌加運費滙費)

著 者 A. E. Fitzgerald 等
譯 者 盛 慶 球
出 版 者 教 育 部
發 行 人 李 潔
發 行 印 刷 正 中 書 局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

暫遷臺北市南昌路一段十二號

海外總經銷 集成圖書公司

(香港九龍亞答街——號)

海 風 書 店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

內政部登記證 內版臺業字第〇六七八號 (6326) 銘
(1000)

原 序

電機工程領域之加速發展，曾於工程教育中造成嚴重之問題，尤在為訓練未來工程師而選擇並安排教材時為然。對此種問題之一極其普通而健全之辦法，則為強調工程中之科學方面。此辦法之被廣泛採用，不僅可證實本書初版時所採用一般觀點之價值，且對再版之修正，亦具有極大之影響也。

廣義言之，本版之修正，實具有下列三個主要目的：

1. 利用數年來使用本書初版之教學經驗，求其更易於教學及了解。
2. 使充分認識現代控制及測定技術之重要性。
3. 將迴路理論，電機機械，及電子學中之最近發展及概念併合於本書之內，此種發展及概念對於所有工程部門均具有廣大之意義。

為求達此目的，故必須將本書內容重行組織，並將若干章及另外數章之重要部分完全重寫。為求達第一個目的，故將新概念漸次引入，並加以充分說明。例如關於電路，磁路，電機機械，及電子學之數章引論，均係自簡單而基本之原理出發，其中大多為古典科學實驗之直接結果。測定及控制相關部門之大為擴充，亦屢見於本書中，蓋著者深感此種新穎而重要之材料，實不應僅作一不相關之附錄。是以回饋控制所基之思考過程雖於迴路理論之數章中見到，而在討論電機機械及電子學時，又復重現，俾在研究回饋控制之前，對之早已熟悉。依照上述目的而新編入之裝置及概念，則為磁性放大器，電晶體，自行平衡記錄器及控制器，相敏調幅及解調，控制放大器，直流及交流控制電動機，以及傳達函數與頻率應答分析等。

本書篇幅之增加，當為無可避免之結果。本書已包含較一每週三小時之二學期課程中所能教授者為多之材料。然而在組織及編著時，著者曾經常顧及使用時之伸縮性，且著者感到可有各種不同長度及題材之課程，能應用本書。在此種情況下，著者希望

講授者能自由選擇材料，以適合其特殊需要及環境，而不致於過分犧牲材料之連續性。

若干講授者曾費去極多之時間與精力，予著者以可貴之批評及建議。著者因曾有機與各種工業中之工程師密切接觸，故對題材之選擇及其相對重要性等問題，均大獲裨益。對此謹表示誠摯之感謝。

A. E. 費茲吉拉特
台維持 E. 興根純

目 錄

第一章 直流電路 1

基本電氣量——電路常數——電阻；歐姆定律
——基本迴路定律；克希霍夫定律——直流電
路——較為複雜之直流電路——網絡簡化——
重疊原理——西佛寧定理

第二章 交變電流及電壓 37

交變電壓之發生——正弦式電壓及電流——純
粹電阻交流電路——根均平方或有效電流及電
壓——自感——純粹電感交流電路——電容
——純粹電容交流電路——迴路參數作為物理
的實體

第三章 相量代表法及複數代數 61

電流及電壓之加法；相量代表法——直座標形
式之相量——極座標形式之相量——冪數形式
之相量——阻抗概念——諧波；富理葉級數。

第四章 交流電路；電流電壓關係 87

迴路元件之串聯組合——電阻電感串聯迴路—
—複數記號法之應用——電阻電容串聯迴路—
—電阻電感電容迴路——並聯迴路——網絡簡
化；串並聯迴路——多電源網絡——西佛寧定
理

第五章 交流電路；功率及頻率應答 123

功率及電抗功率——功率因數及伏安——功率

因數校正——頻率應答及共振——耦合網絡——
 四端點網絡——最大功率情況——總結

第六章 多相電路..... 161

3相電壓之發生——三相電壓，電流，及功率
 ——Y連接之迴路—— Δ 連接之迴路—— Δ —
 Y之等效——平衡3相迴路之分析；單線圖—
 —3相功率測定——其他多相系統——成本考
 慮及電價計算

第七章 暫 態..... 193

電氣暫態——有恆定所加電壓之RL暫態——
 有恆定所加電壓之RC暫態——時間常數——
 LC迴路；振盪——更具一般性的暫態問題—
 —交流暫態

第八章 磁 路..... 217

電流之磁效應——磁路概念——BH曲線——
 磁性材料之特性——實用磁路——有直流激磁
 之磁路——磁力及其利用——磁感應電壓；自
 感——有交流激磁之磁路——磁壓及渦流損耗
 ——激磁電流——有交流及直流激磁之磁路；
 可飽和鐵心電抗器。

第九章 變 壓 器..... 247

變壓器構造——理想的變壓器中之作用——與
 理想之出入；漏電抗；等效迴路之演化——等
 效迴路——短路及開路試驗——效率及調整—
 —可變頻率變壓器——自耦變壓器；儀表變壓
 器——3相迴路中之變壓器——互感；空氣心

子變壓器。

第十章 電機機械之物理觀..... 281

電氣機械能量變換——電壓及轉矩——磁場之交互作用——交流發電機——直流發電機——電動機——損耗及效率——應用電機時之考慮——電機定額

第十一章 直流電機..... 329

整流作用——電樞電動勢——等效迴路——磁化曲線——發電機行爲——自激發電機——電動機行爲——分激電動機——串激及複激電動機——電動機啓動——速率控制——整流磁場——電樞反應；補償磁場

第十二章 三相感應電動機..... 369

迴轉磁場——感應電動機作用——等效迴路——基於簡化等效迴路之分析——無載及阻塞轉子試驗——雙鼠籠式電動機；鼠籠式電動機之分類——感應電動機啓動

第十三章 多相同步電機..... 396

同步電動機作用——同步阻抗及激磁電壓——等效迴路及相量圖——凸極及飽和之效應——基於等效迴路之電動機行爲近似分析——交流電動機之功率因數——同步電動機啓動

第十四章 分數馬力電動機..... 411

單相感應電動機——單相感應電動機之啓動及運轉行爲——交流串激電動機；通用電動機——

—推斥電動機——小型直流電動機；裂相串繞
及裂相複繞電動機

第十五章 高度真空管之物理觀及其關聯

迴路.....411

基本過程之考察——電子發射——高度真空熱
離子二極管——柵極控制高度真空管；三極管
——真空管因數——四極管及五極管；電子注
功率管——高度真空管之比較——靜止情況及
動態運用——真空管迴路：放大器——調幅及
解調——真空管振盪器

第十六章 高度真空管作為迴路元件.....463

電壓及電流記號——圖解分析——等效迴路—
—有自給偏壓之等效迴路——功率放大；圖解
與等效迴路方法之比較。

第十七章 真空管放大器.....489

放大器之分類——極際電容及輸入阻抗——電
阻電容耦合放大器——變壓器耦合放大器——
直接耦合放大器——推挽式迴路——陰極耦合
器放大器——倒回饋放大器

第十八章 真空管振盪器.....515

自激之條件——回饋振盪器之必要條件——振
盪之發動及限制——振盪器迴路——振盪器應
用；感應及介質加熱

第十九章 特殊目的真空管及半導體器械.....525

含氣熱離子二極管——整流——基本的整流器

分析——半導體；電晶體——冷陰極含氣管；
輝光管，汞弧整流器，及引燃整流管——光敏
管——光電管應用

第二十章 控制放大器及其關聯設備.....557

開流管——開流管控制迴路——磁性放大器
——直流發電機作為放大器——Rototrol 及
Regulex——安浦立達因——控制電動機——
同位器

第二十一章 儀表使用.....599

電氣測定儀表——標準電池——電位計——暫
態及週波現象之測定：示波器——電阻電橋—
—阻抗電橋——非電氣量以電氣方法測定——
若干特殊例子——自行平衡連續記錄器——閃
光測頻計——特殊目的中之儀表使用——儀表
使用與控制之關係

第二十二章 回饋控制系統.....629

控制系統之型式——電機行為之回饋控制——
不連續回饋控制系統——定態情況；增益規格
——頻率應答——傳達函數及區塊圖——穩定
度考慮——綜合應答——補償

附 錄.....679

標準軋化銅電線表（實心）
標準軋化銅電線表（絞線）
真空管之運用數據

第十一章 直流電機

第 10—5 及 10—6 節中所曾簡單敘述之直流電機，其主磁束係由磁場或定子繞組中之直流電所產生。其電樞或轉子端點亦加以或取出直流電。直流電動機及發電機有極具伸縮性及融通性之行為特性。當可控制性甚為重要時，此種特性特別有用處。在本章中將對此種特性作一量之考察。

11—1. 整流作用

整流子在直流電機中達成二重要功用：將電樞導體中之交變電壓及電流波形整流，俾可供應發電機之直流輸出或配合電動機之直流輸入，又使電樞或轉子之磁場不顧電樞之迴轉，而仍靜止於空間中，因而在發電機中供應一反轉矩或在電動機中供應一軸輸出轉矩。

欲考察在較圖 10—29 中者更為接近於現實繞組之作用，可考慮圖 11—1 中之簡單二極繞組。圖 11—1 a 中係示垂直於軸之一截面圖。在圖 11—1 b 中，電樞乃扭曲為一圓錐體之形狀，俾可較為充分顯示繞組及整流子連接之細節。圓錐之底部係在讀者之另一面，而圓錐之尖端則正對讀者。圖 11—2 b 中標以數字之軸射線，為電樞感應體 (Inductors)，此乃實際置於圓柱形電樞周圍之槽中者。靠近中心之扇形片為銅整流片 (Commutator segments)，而將感應體與感應體及感應體與整流片相連接之曲線，則為後端及前端連接 (Back and front connections)。所有此種部分俱隨電樞而迴轉。承於二整流片上之二黑塊為炭刷 (Carbon brushes)，此乃靜止者。此種炭刷之電氣位置，乃以圖 11—1 a 中之黑色長方塊表示。

整流可藉視圖 11—1 之電樞為逆時鐘方向迴轉而見之。靠近感應體之矢於是表示電壓升之方向，或當此電機為一有載之發電機時電流之方向。有二並聯通路自電刷經電樞而至電刷，一條經過感應體 8, 5, 2, 及 7 而另一條經過感應體 3, 6, 1, 及 4。

於是電刷間之電壓在二通路中，均為各個感應體電壓之和，如圖 11-3a 中所示，再減去其電阻降。在任一條通路中之感應體，均有相同方向之電壓。在四分之一轉以後之情況，如圖 11-2 及圖 11-2b 中所示，係與前相同，惟在並聯迴路中之感應體當其自一定子磁極下移至另一磁極下時，乃重行組合者。是以跨越電刷之電壓為一直流電壓。

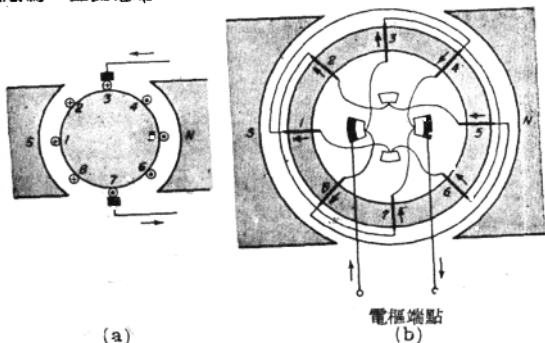


圖 11-1. 基本 2 極直流電機電極

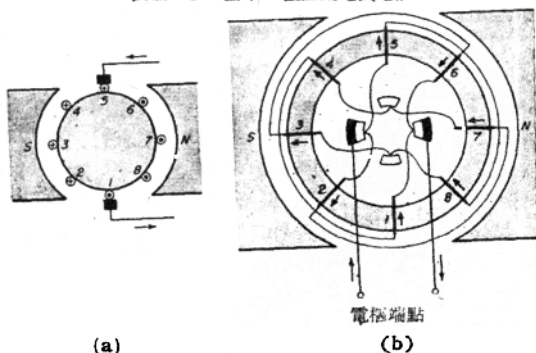


圖 11-2. 基本 2 極直流電機電極自圖 11-1 之位置旋轉四分之一轉。

欲考察電樞對磁場所產生之效應，令圖 11-2b 代表一電動機之電樞，而有直流電供應至電刷於圖所示之方向。於是二並聯通路感應體中之電流方向乃如圖 11-2b 中之矢及圖 11-2a 中之點及十字所示。自圖 11-2a 可見電樞感應體產生一磁場，其北極係在底部電刷處，南極在頂部電刷處，而其軸為垂直。不同轉子

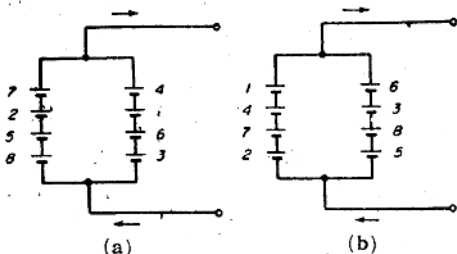


圖 11-3. (a) 圖 11-1 及 (b) 圖 11-2 繞組中各個感應體電壓之簡單代表

與定磁極之相吸及相同磁極之相斥在電樞上產生一順時鐘轉矩。在四分之一轉以後，如圖 11-1 所示，其磁氣情況係與前相同，而仍有一順時鐘轉矩產生。於此可見整流子乃保持轉子磁場在空間中沿一由電刷軸所決定之軸向而靜止，不論電樞如何迴轉。因此有一單方向之轉矩產生。

圖 11-1 及 11-2 之繞組為 2 極鼓繞組 (drum winding)。實際繞組之一般性質與此相同，但具有較多之感應體因而亦有較多之整流片。圖 10-3 示一典型直流電樞及整流子裝置，而圖 10-26 則示一自整流子端所見直流電機之完全裝置。在多於二極之電機中，有二種鼓繞組型式，稱為重疊繞組及波形繞組 (lap windings and wave windings)。在重疊繞組中，所需之電刷數及經過電樞之並聯通路數俱等於磁極數。在波形繞組中，所需之電刷數及並聯通路數，不論磁極數為何均等於 2；然而通常用等於磁極數之電刷數，以期減低電刷中之電流密度。

331/13

11-2. 電樞電動勢

電樞繞組在氣隙磁場中之迴轉感應得一電壓，稱為電樞電動勢 (Armature emf)，通常在發電機中稱為發生電動勢 (Generated emf)，而在電動機中稱為反電動勢 (Counter emf)。當每極之磁束 ϕ 韋勃，磁極數 p ，電樞速率 n 轉每分，電樞感應體數 Z ，及經過電樞繞組並聯通路數 a 為已知時，此電動勢之大小，即可用法拉第定律而計算得。

現考慮一指定之電樞感應體，如圖 11-1 中之 1。在一完全轉中，此感應體切割 $p\phi$ 條磁束線。此磁束量在每秒中切割 $n/60$ 次，故平均切割磁束率為 $p\phi n/60$ 伏特。但因經過電樞之通路不只一條，故在一正電刷與一負電刷間僅有 Z/a 感應體串聯（例如在圖 11-1 中之電刷間僅有四感應體串聯，而並非全部八個）於繞組之總感應電壓為

$$E = \frac{Z}{a} p \phi \frac{n}{60} \quad \text{伏特} \quad (11-1)$$

如第 11-1 節中所論，對於波形繞組 $a=2$ ，而對於重疊繞組則 $a=p$ 。因 Z ， a ，及 p 為由特殊設計所決定之常數，故公式 (11-1) 可重寫為

$$E_n = k \phi n \quad (11-2)$$

在電動機中， E_a 反抗電樞端電壓。電樞端電壓與電樞感應電壓之差，為電樞電阻降而決定電樞電流。在發電機中， E_a 係較電樞端電壓大以電樞電阻降。若電樞繞組為開路因而並無電樞電阻降，則感應電壓與端電壓將為相等。事實上感應電壓可用上方法而由實驗求得為磁場電流之函數，此將於第 11-4 節中較為詳細討論之。

11-3. 等效迴路

將以上之考慮，電動機或發電機電樞之等效迴路為包含電樞

電阻 R_a ，在其一端有電樞端電壓 V_a 存在而在另一端則有電樞電動勢 E_a 存在。此迴路係示於圖 11—4 中。

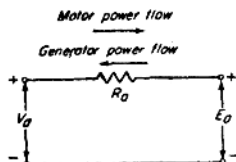


圖11—4. 直流電機電樞之等效迴路

Motor power flow
電動機功率流動
Generator power flow
發電機功率流動

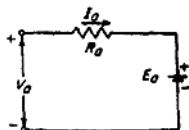


圖11—5. 直流電動機電樞之等效迴路

功率流動之方向，可用以區別發電機與電動機之作用。為強調之故，專為電動機之電樞等效迴路，重繪於圖 11—5 中，而專為發電機者，係重繪於圖 11—6 中。在此二圖中， I_a 為電樞電流。就整個電機而言，必須計及分激及串激磁場之存在。包括分激及串激磁場之複激電動機之連接圖與等效迴路間之比較，係示於圖 11—7a 及 b 中。複激發電機相應之等效迴路，係示於圖 11—8 中。在此種圖中， I_f 為分激磁場電流， I_L 為線電流， V_t 為電機端電壓， R_f 為分激磁場迴路電阻，而 R_s 為串激磁場電阻。若為一分激電機，串激磁場及 R_s 即被略去，而電壓 V_t 與 V_a 相等；若為一串激電機，則分激磁場， R_f 及 I_f 即被略去，而電流 I_a 與 I_L 相等；若為一另激電機，則其迴路即為圖 11—5 或 11—6 中者，其磁場係由另一分開之電源所供給。

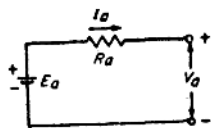


圖11—6. 直流發電機電樞之等效迴路

圖 11—7 及 11—8 示一所謂長分連接 (Long shunt connection)，其意乃指分激磁場係直接跨接於線間，而串激磁場則處於其與電樞之間。另一種可能連接，為短分連接 (Short shunt connection)，則分激磁場直接跨接於