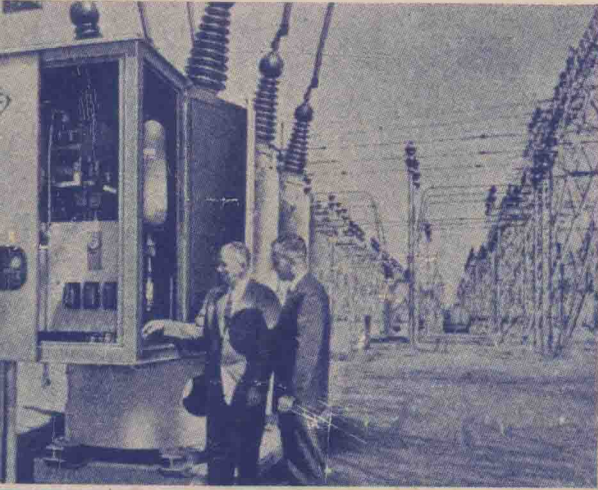


科技用書

實用變壓器學

基本原理、應用技術、設計實務
圖解、計算、構造、保養、檢查

工博 坪島茂彦 共著
羽田正弘



3025

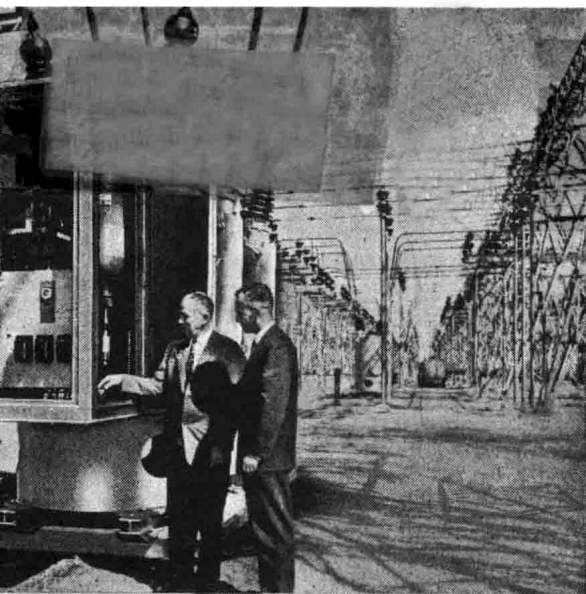
復漢出版社印行

科技用書

實用變壓器學

基本原理、應用技術、設計實務
圖解、計算、構造、保養、檢查

工博 坪島 茂彦 共著
羽田 正弘



中華民國七十一年十月出版

實用變壓器學

原著者：

羽田

島田

正茂

弘彦

譯著原：

賴耿

耿

陽

出版者：

復漢

漢

出版

版

社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：

沈岳

岳

林

印刷者：

國發

發

印

刷

廠

打字者：速成打字印刷有限公司

地址：台南市逢甲路235巷3弄6號

版權 · 所有
翻印 · 必究

平裝 一七〇元
精裝 二〇〇元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

變壓器從輸配電用的大形到各種器具用的小形，種類多而廣用。

變壓器也是基本的電磁機器，瞭解其理論與實務乃瞭解電動機或發電機等的基礎。

本書針對此種需要和狀況，就變壓器的理論觀念和實際製品，平易解說深入且新穎的內容。

爲達成此目的，執筆原則如下：

(1)變壓器名牌 (name plate) 的內容指示利用者可應用的變壓器性能。所以，清楚說明名牌的項目，把握全貌，令便瞭解後文。

(2)避免抽象、難解的原理或理論。例如：

(i) 愈難解的部份愈細述，且用較多的圖表佐證。

(ii) 敘述理論之際，統一交流電壓、電流、磁束等的正方向取法，始終一貫，且隨處反覆其觀念，以便容易瞭解。記號、文字配列、基準的取法等也配合實際的規格或製品，使能由本書習得的知識可順利應用。

(iii) 各章末有具體的計算例，彌補理論與實際的空隙。變壓器的設計另設一章，與各章的計算例相輔相乘。

(3)在篇幅容許的範圍，盡量網羅變壓器的構造、種類、應用等實務，特別是介紹新技術動向。

也盡可能概述最近關心的省能源、變壓器與整流器的關係、額定外使用法、運轉、保養、檢查等。

(4)全書有豐富的插圖，但非配角，而是與主文同樣重要，此乃本書的一大特色。

編者

實用變壓器學 / 目次

第一章 變壓器概論	1
1.1 變壓器的原理.....	1
〔1〕 電流形成的磁場	〔3〕 變壓器的原理
〔2〕 電磁感應	
1.2 名牌的記載事項.....	5
〔1〕 相數	〔10〕 端子配列
〔2〕 額定電壓	〔11〕 溫升、絕緣的種類、冷 却方式
〔3〕 額定周波數	〔12〕 使用與額定的種類
〔4〕 額定容量與額定電流	〔13〕 絕緣階級（號）或交流 試驗電壓（V或KV）
〔5〕 阻抗電壓	〔14〕 其他
〔6〕 功率因數、效率、輸入	〔15〕 規格
〔7〕 分接頭電壓	問題及解答〔1〕
〔8〕 向量群記號或向量圖	
〔9〕 接線圖	
第二章 變壓器的構造	14
2.1 變壓器的基本構造.....	14
〔1〕 一般構造	〔2〕 內鐵形與外鐵形
2.2 鐵心.....	16
〔1〕 內鐵形積鐵心	〔3〕 卷鐵心
〔2〕 外鐵形積鐵心	
2.3 線圈.....	20
〔1〕 導電材料	〔4〕 線圈的配置
〔2〕 轉位	〔5〕 線圈的絕緣與冷卻
〔3〕 線圈的種類	〔6〕 內部電位振動

[7] 短路强度	
2.4 絕緣材料	27
[1] 絕緣油	[2] 絕緣紙
2.5 外箱與附屬品	29
[1] 槽	[4] 放熱裝置
[2] 襯套 (bushing)	[5] 其他附屬裝置
[3] 油劣化防止裝置	
2.6 冷卻方式	33
[1] 冷卻方式的種類與表示	[3] 乾式變壓器
[2] 裝油變壓器	
第三章 變壓器的理論	36
3.1 感應起電力	36
3.2 激磁電流	38
[1] 激磁電流與供給電壓	[3] 激磁電流的波形
[2] 激磁電流的大小	
3.3 負荷電流	42
[1] 二次電流	[1] 一次電流
3.4 洩漏電抗與電阻	44
[1] 洩漏電抗	[4] 考慮內部電壓降的向 量圖
[2] 洩漏電抗的計算	
[3] 電阻	
3.5 向量正方向的取法與向量圖的關係	48
3.6 變壓器的等值回路	48
[1] 理想變壓器	項
[2] 變壓器的等值回路	問題及解答 [3]
[3] 用等值回路時的注意事	
第四章 變壓器的特性	58
4.1 電壓變動率	58
[1] 何謂電壓變動率	[2] 阻抗電壓

〔3〕	電壓變動率的計算	動率的關係	
〔4〕	負荷功率因數與電壓變		
4.2	損失		63
〔1〕	損失的分類	〔4〕	損失的測定
〔2〕	鐵損	〔5〕	損失的溫度換算
〔3〕	電阻損失與漂游負荷損 失	〔6〕	輔機損失
4.3	效率		67
〔1〕	規約效率的計算	〔3〕	效率與電壓變動率的 關係
〔2〕	最大效率		
4.4	全日效率		70
4.5	有關激磁電流的現象		71
〔1〕	激磁電流的現象	〔2〕	激磁突入電流
4.6	脈衝特性		72
〔1〕	為何需要脈衝特性	位分佈	
〔2〕	對脈衝的變壓器內之電 問題及解答〔4〕		
第五章	變壓器的接線法		78
5.1	單相變壓器的極性與接線		78
〔1〕	何謂極性	〔3〕	配電用變壓器的接線
〔2〕	極性的設法與端子的配 列	〔4〕	極性試驗
5.2	三相接線		82
〔1〕	三相的變壓與接線的種 類	△接線	
〔2〕	三相變壓器的端子記號	〔7〕	人—△接線及△—人 接線
〔3〕	電壓、電流的表示法與 其向量的正方向	〔8〕	鋸齒狀接線
〔4〕	△—△接線	〔9〕	角位移
〔5〕	V接線	〔10〕	第三調波與三相接線 問題及解答〔5〕
〔6〕	人—人接線及人—人—		

第六章 並行運轉及相變成	103
6.1 變壓器的並行運轉.....	103
〔1〕 單相變壓器的並行運轉	條件
〔2〕 三相變壓器並行運轉的	
6.2 三相、二相間的相變成.....	106
〔1〕 Scott接線	〔2〕 烏德電橋接線法
6.3 三相、六相間的相變成.....	111
問題及解答〔6〕	
第七章 變壓器的電壓調整	117
7.1 配電用變壓器的二次電壓.....	117
7.2 變壓器的分接頭.....	117
7.3 無電壓分接頭變換變壓器.....	118
〔1〕 分接頭變換台	〔2〕 無電壓分接頭變換器
7.4 負荷時變換分接頭的變壓器.....	119
〔1〕 分接頭變換方式	〔2〕 負荷時分接頭變換裝置
7.5 負荷時電壓調整器.....	124
7.6 負荷時相位調整器.....	126
7.7 負荷時電壓相位調整器.....	127
第八章 變壓器種類與省電使用法	128
8.1 移動用變壓器.....	128
8.2 試驗用變壓器 (testing transformer)	129
8.3 電爐用變壓器 (furnace transformer)	129
8.4 配電用變壓器.....	130
8.5 單卷變壓器.....	131
〔1〕 電壓比及電流比	〔4〕 單卷變壓器的三相
〔2〕 自己容量與線路容量	接線
〔3〕 單卷變壓器的特色	
8.6 整流器用變壓器.....	137

[1] 整流器用變壓器與整流回路	[2] 直流偏磁	[3] 線圈的容量	
8.7 變壓器的額定外使用			144
[1] 以額定以上的電流使用的場合	時	[3] 在額定外的周波數使用時	
[2] 在額定以上的電壓使用			
8.8 變壓器的省電			147
[1] 損失比與效率	[3] 變壓器本身損失的減低		
[2] 並聯運轉時，變壓器的台數控制	問題及解答 [8]		
第九章 計器用變壓器			153
9.1 計器用變壓器的分類			153
9.2 變流器			154
[1] 變流器的原理	[3] 變流器的構造		
[2] 變流器的特性			
9.3 計器用變壓器			158
[1] 計器用變壓器的原理	[3] 計器用變壓器的構造		
[2] 計器用變壓器的特性			
9.4 電容器形計器用變壓器 (P . D)			159
9.5 計器用變壓變流器			160
9.6 電相變流器			161
9.7 數位變成器			161
[1] 電流感知器部	[2] 電壓感知器部		
第十章 電抗器			165
10.1 電抗器的種類			165
10.2 電抗器的構造與特性			165
[1] 空心電抗器	[3] 閉磁路形電抗器		
[2] 有間隙的鐵心形電抗器			

第十一章 變壓器的設計..... 169

11.1 從規範求磁束..... 169

11.2 設計計算例..... 171

[1] 規範

[2] 設計計算

第十二章 變壓器的試驗..... 176

12.1 試驗的一般事項..... 176

[1] 工廠試驗

[2] 試驗條件

12.2 一般試驗..... 177

[1] 外觀檢查

[6] 銅損及阻抗試驗

[2] 線圈電阻的測定

[7] 無負荷試驗

[3] 變壓比測定

[8] 交流耐電壓試驗

[4] 極性試驗(單相變壓器
時採行,三相變壓器用
角位移試驗)

[9] 負荷時分接頭變換
器的試驗

[5] 角位移及相旋轉試驗(
三相變壓器時)

[10] 冷却扇及送油泵浦
的輸入測定

12.3 對代表性變壓器進行的試驗..... 182

[1] 溫升試驗

[2] 雷脈衝耐電壓試驗

12.4 特殊試驗..... 187

[1] 噪音試驗

[4] 長時間交流耐電壓試驗

[2] 三相變壓器零相阻抗的
測定

[5] 電介質正切($\tan \delta$)
的測定

[3] 開閉脈衝電壓試驗

問題及解答 [12]

第十三章 輸送及保養、檢查..... 193

13.1 變壓器的輸送..... 193

13.2 變壓器的乾燥..... 194

[1] 工廠的乾燥

[3] 真空注油方法

[2] 現場的乾燥

13.3 變壓器的保養.....	196
〔1〕 保養、檢查時的注意事 項	〔2〕 日常的保養、檢查 〔3〕 定期檢查
第十四章 變壓器最近的動向.....	200
14.1 低噪音變壓器.....	200
〔1〕 變壓器噪音的原因	〔2〕 減低變壓器噪音的方法
14.2 電力用模鑄變壓器.....	203
〔1〕 模鑄變壓器的構造	〔2〕 模鑄變壓器的特色
14.3 SF ₆ 氣體絕緣變壓器.....	206
〔1〕 SF ₆ 氣體的特性	特色
〔2〕 SF ₆ 氣體絕緣變壓器的	
14.4 裝矽利康油的變壓器.....	207
〔1〕 矽利康油的特性	色
〔2〕 裝矽利康油的變壓器特	
14.5 異容量V接線方式.....	207
〔1〕 異容量V接線與複合變 壓器	〔2〕 單相負荷接線法的 比較

第一章 變壓器概論

變壓器是升降電壓（降升電流）的裝置，升降電壓的功能稱為變成。JEC — 204定義變壓器是“具有鐵心與兩個或三個以上的線圈，而且它們互不改變位置的裝置。從1個或2個以上的回路，接受交流電力，藉電磁感應作用變成電壓及電流，對另一或二個以上的回路供給同一周波數的交流電力”。

也可將此2個或3個以上的線圈彼此絕緣。

本章概論變壓器，敘述原理及名牌的記載事項等。

1.1 變壓器的原理

〔1〕 電流形成的磁場

1820年Oersted發見電線通電流時，其周圍會發見磁場。

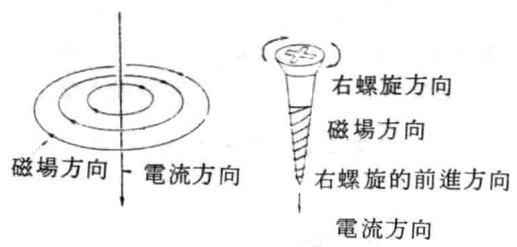


圖 1·1 安培右螺旋定則

同年，安培證實直線電流如圖 1 - 1 所示，以電流為軸的同心圓形發生磁場，“電流方向與磁場方向有右螺旋進行方向與其旋轉方向的關係”，此為安培的右螺旋定則。

如圖 1 - 2 所示，對卷成的線圈通電流時，上述的直流電流合成

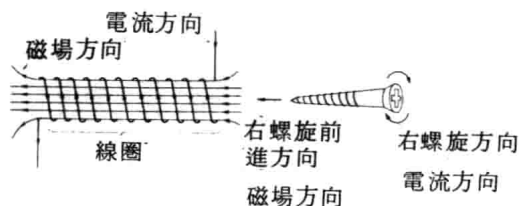


圖 1-2 線圈電流與磁場的關係

，形成磁場，結果，此起線圈直徑，長度十分長時，線圈內側產生均勻的磁場。磁場方向如圖所示，線圈電流方向為右螺旋時，磁場在螺旋前進方向。

如此，將鐵等媒體置於發生磁場之處，會被磁化。磁氣狀態因媒體種類而相當不同。

如圖 1-3(a)所示線圈置於空氣中時與圖(b)所示線圈卷於鐵時，媒

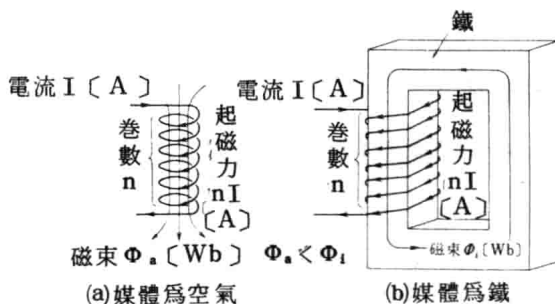


圖 1-3 線圈與磁化

體內的磁氣性質是後者強得多，變壓器利用此磁氣作用，故用鐵為媒體，此時，產生磁化的力稱為起磁力，設線圈的卷數 n ，線圈的電流 I [A]，起磁力 F_m 表成。

$$F_m = nI \text{ [A]} \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

起磁力使磁束通過媒體中，愈易磁化的媒體，通過的磁束愈多。以導磁

係數表示對同一磁場強度，單位面積發生多少磁束。

導磁係數表示物質中的磁場強度 H 與磁束密度 B 的關係，以 $\mu = \frac{B}{H}$ 表示，物質的導磁係數 μ 與真空的導磁係數 μ_0 之比 $\frac{\mu}{\mu_0} = \mu_r$ 稱爲此導磁係數。

〔2〕 電磁感應

線圈通電流時，媒體磁化，有磁束通過。反之，通過線圈的磁束成時間性變化時，線圈發生起電力。此稱電磁感應。電磁感應在線圈發生的起電力正比於鎖交於此回路的磁束數變化率，其方向是發生妨礙磁束變化之電流的方向。

在 Δt [s] 間，貫通卷數 n 之線圈的磁束變化 $\Delta\phi$ (Wb) 時，在上示方向感應的起電力表成下式。

$$e = n \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \text{ [V]} \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

線圈的卷數 n 與磁束 ϕ 之積 $n\phi = \psi$ 稱爲鎖交磁束數。

參 考

有時在式 (1.2) 中如下標註一 (負) 號，

$$e = -n \frac{d\phi}{dt}$$

這是由於將起電力的正方向取爲對磁束如圖 1.3 通右螺旋電流的方向。本書取阻礙變化的方向一亦即負 (逆起電力) 的方向爲正，故不設一。圖 1.4 示此關係。

磁束的變化率隨時變化時，不用 Δ ，用表示各瞬間變化的 d ，成爲下示的微分商之形式，

$$e = n \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\psi}{dt} \text{ [V]} \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = a \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

E_1, E_2 : e_1, e_2 的實效值, a : 卷數比

亦即, 感應起電力之比等於卷數比 a 。

爲對一次線圈通電流, 須對一次線圈端予供給電壓 V_1 (v_1 的實效值), 一次供給電壓 V_1 與一次感應起電力 E_1 的大小約略相等, 若在二次端予, 速接負荷, 二次端予電壓 V_2 (v_2 的實效值) 約略等於二次感應起電力 E_2 。

因而, 一次端予電壓 V_1 與二次端予電壓 V_2 之比爲

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

電壓以卷數比變成。

1.2 名牌的記載事項

變壓器一定有圖 1.6 所示的名牌, 記載該變壓器的特性、使用法等, 記載的數字或文字各有重要意義。

在此以名牌記載事項爲中心, 介紹規定變壓器性能的諸量或用語。

[1] 相數

柱上變壓器之類用爲單相負荷之電源者用圖 1.5 之原理圖的單相變壓器。

三相的輸配電用也可將單相變壓器用爲三相接線, 不過, 一般用三相一括式三相變壓器(理由後述), 名牌一定註明單相或三相的相數。

[2] 額定電壓

名牌記載的額定電壓爲客戶指定的各線圈端予電壓的實效值(三相時爲線間電壓), 設額定一次電壓 V_{1n} , 額定二次電壓 V_{2n} , V_{1n} / V_{2n} 爲指定變壓比, 這是依客戶要求的電壓變成目標。

實際的變壓比是對一次施加電壓, 二次開放成無負荷, 使二次電壓成 V_{2n} 時的一次端予電壓爲 V_{10} 時, 成 V_{2n} / V_{10} 之值。

