

# 實用變壓器設計學

吳顯堂 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行



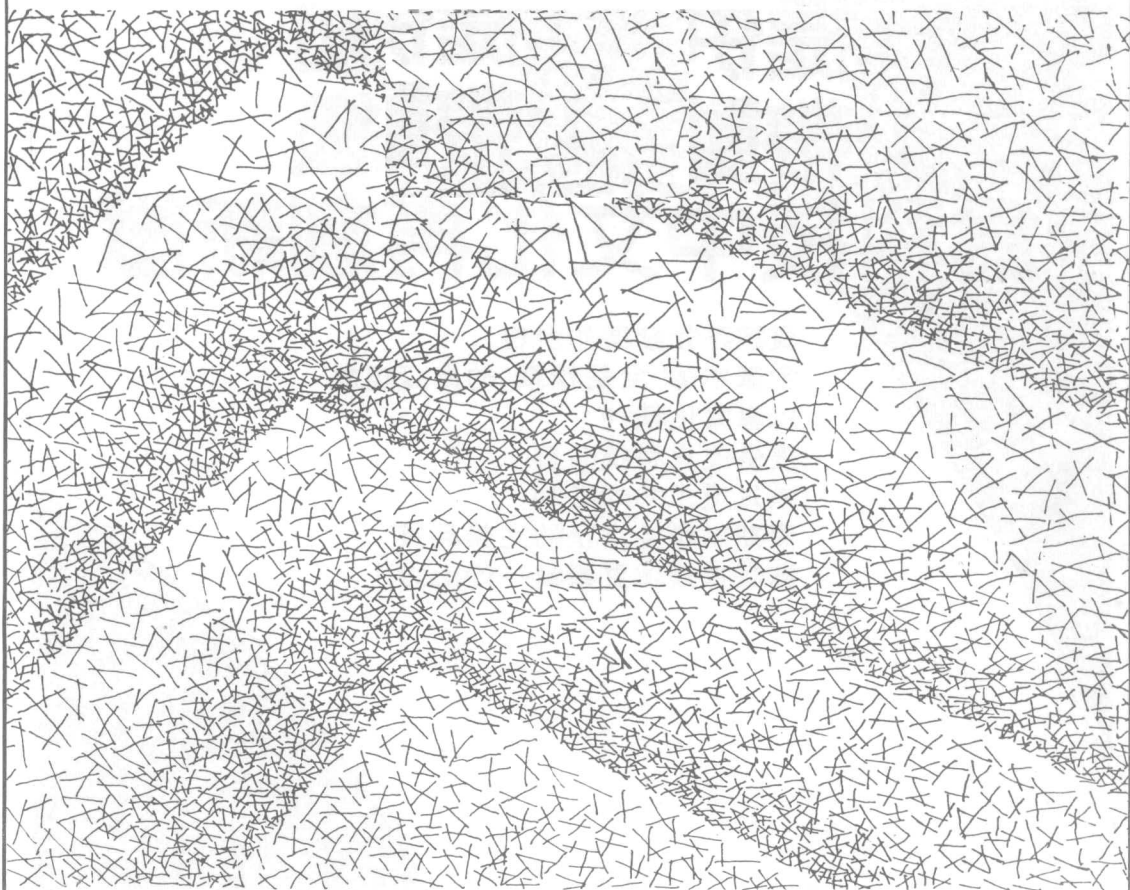
## 全華電機相關圖書

- |      |   |      |  |
|------|---|------|--|
| 1078 | 電機機械<br>宋揚曙 編著<br>20K/344頁/240元           | 1485 | 電動機控制實習<br>吳炳煌 編著<br>16K/224頁/225元               |
| 1035 | 電機機械<br>楊宗銘 編譯<br>20K/600頁/290元           | 1267 | 控制用電動機應用<br>許中平·黃煌嘉 編譯<br>20K/304頁/250元          |
| 1450 | 電機機械與驅動器實例<br>湯君浩 編譯<br>20K/334頁/220元     | 1142 | 無刷伺服電動機的基礎<br>與應用<br>許中平·黃煌嘉 編譯<br>20K/224頁/200元 |
| 1075 | 小型電動機選擇與使用<br>許中平·黃煌嘉 編譯<br>20K/272頁/180元 |      |  |

● 上列書價若有變動  
請以最新目錄為準。

# 實用變壓器設計學

吳顯堂 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行

國立中央圖書館出版品預行編目資料

實用變壓器設計學 / 吳顯堂編譯 . - - 初版 .

- - 臺北市：全華，民79

面； 公分

譯自：實用變壓器設計學

ISBN 957-21-0078-5 (平裝)：

新臺幣 260 元

1. 變壓器

448.23

79001217

法律顧問：陳培豪律師

實用變壓器設計學

吳顯堂 編譯

定價 新台幣 260 元

初版 / 79年12月

圖書編號 0212018

版權所有·翻印必究

出版者 / 全華科技圖書股份有限公司

地址：台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話：5071300(總機) FAX:5062993

郵撥帳號：0100836-1號

發行人 / 陳 本 源

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

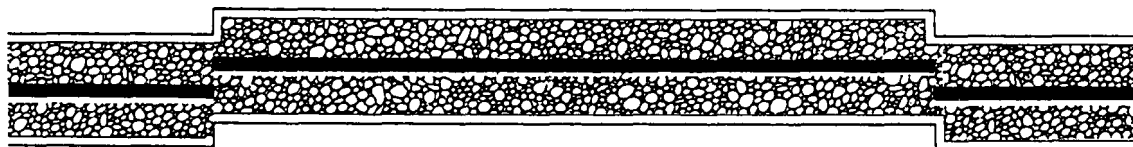
我們的宗旨：

提供技術新知  
帶動工業升級  
為科技中文化再創新猷

資訊蓬勃發展的今日，  
全華本著「全是精華」的出版理念  
以專業化精神  
提供優良科技圖書  
滿足您求知的權利  
更期以精益求精的完美品質  
為科技領域更奉獻一份心力！

為保護您的眼睛，本公司特別採用不反光的米色印書紙！！

# 原 序



在我國國內，討論如何設計電力變壓器的相關書籍，雖然不少，但是實用設計技術，因為受到製造廠家保密的關係，內容幾乎都不能令人滿意。

針對這點，筆者特別藉助執行岩根博士與竹內壽太郎博士的著作做為設計變壓器的電學方面之參考。

但前者是以銅、鐵之比，求取最經濟的條件為設計的基本目標，因此，就作業上的問題加以考慮，要直接加以應用，將會有某些困難。

至於後者，是以標準的磁性負荷做為基本設計標準。這種方法是由統計上決定其範圍，所以，設計時，會有不能斷然決定 $\phi$ 值的困難。筆者有鑑於此，也因為職務上的需要，深深地感到有整理出合乎時代要求，又具備實用價值的經濟性設計法之必要。因此，從1976年開始，朝這一目標不斷地努力，終於有了這一成果。

耗費這十幾年的光陰，對筆者而言，雖然很有意義。但是讓眾多的，具有同一需要的中小企業技術人員也各自付出這樣的辛勞，對整個社會資源而言，却是莫大的浪費。基於此一理念，乃決定將這一研究心得毫不保留地公諸於世。不過，由於筆者生性遲鈍、學淺，又都是靠自己摸索所得，而設計變壓器所涉及的問題相當多，所獲得的心得也都想加以發表，所以，內容錯誤或不為讀者滿意的地方可能不少。好在，只要能給各位助一臂之力，也感榮幸。

本書準備專門討論，在設計合乎時代要求，也合乎現場需要，又具備經濟條件的電力用變壓器時，應如何進行考慮的根本性問題。然後，再搜集一些能直接應用於電力用變壓器的設計之相關資料。另外，又因為常常會有使用者要求設計一些規格特殊的變壓器，因此，在檢討其可能性之後，舉出兩、三種各位可能不太熟悉的變

壓器爲例，就設計時必須使用的計算式，詳細地加以說明。至於，有關電力用變壓器的一般性問題，以及電力用以外的特殊變壓器之問題，因篇幅所限，只能讓給其他著者討論。

在矩陣的計算式中，一般的矩陣法是把電流的向量  $\mathbf{I}$  之指標，註在上面，但是本書，爲避免和指數相混淆，準備破例，改註在下面。

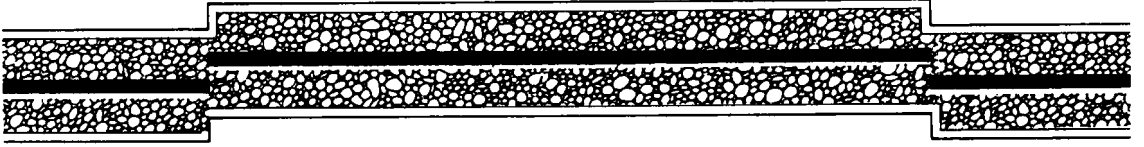
目前，我國許多相關的學會或協會，大都逐步採用國際單位制（SI）。所以，本書也順應潮流加以採用。

最後，在對安藝製作所設計課的鼎力相助深致謝意之同時，對爽快地答應出版本書，並誠心實踐的歐姆社出版部之人士，由衷地感謝。

著者 謹識



# 譯者序



“時代不斷地進步”，這句老生常談的話，不僅從事電子技術的工作者有切身的體驗，就是一般的民衆，也有深刻的感受。因為由一、二十年前的真空管收音機、黑白電視機，進步到電晶體小收音機、彩色電視機、磁帶錄放影機、雷射唱機、雷射放影機、手掌型計算機、個人電腦、商用電腦……等等，不勝枚舉的新產品，不停地湧現。

但是，同一時期，電學領域的電力方面之技術研究，似乎都沒有顯著的進展，因為一般民衆並沒有看到比較特殊的成果表現，因此，在國內，大學的入學志願中，電子工程與資訊工程已成為最熱門的科系。過去，一直獨占鰲頭的電機工程，現在反而退居第二線。但是，實際從事電力工作的技術人員都知道，這一、二十年，電力設備在品質與效率上，也一樣有長足的進步。所以，查閱十年前出版的電學書籍就可發現，基本原理雖然相同，所列舉的材料與方法，却與現代的技術相脫節。就因為這個緣故，介紹外國新出版的書籍給國內讀者，一直都是引進新技術，提昇我國技術水準的不可或缺之一環。

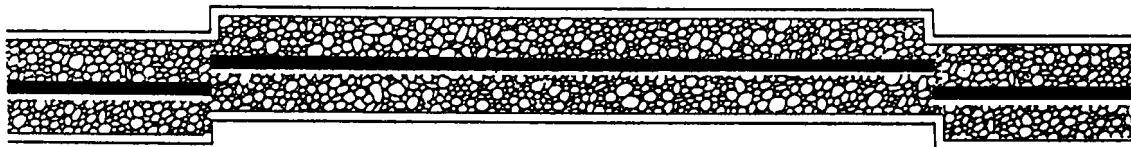
另一方面，在國內，過去，因為只有少數幾家廠商從事電力用變壓器的設計與製造，所以，市面上，有關這一方面的書籍並不豐富，討論的內容也不新穎、深入。但是目前，我國的經濟正在突飛猛進的階段，需要大量的動力之新興產業相繼成立；人民的生活水準也比例地提高，使對最基本的能源之電力需求，更為殷切。因此，中、小型電力變壓器，不僅處處可見，還不斷地在增設中。

在這樣的情況下，將這本最新的實用電力變壓器設計法介紹給國內讀者，以求對提昇我國在電力方面的技術水準盡一點棉薄之力。若然，則已感榮幸。

譯者 謹識



# 編輯部序

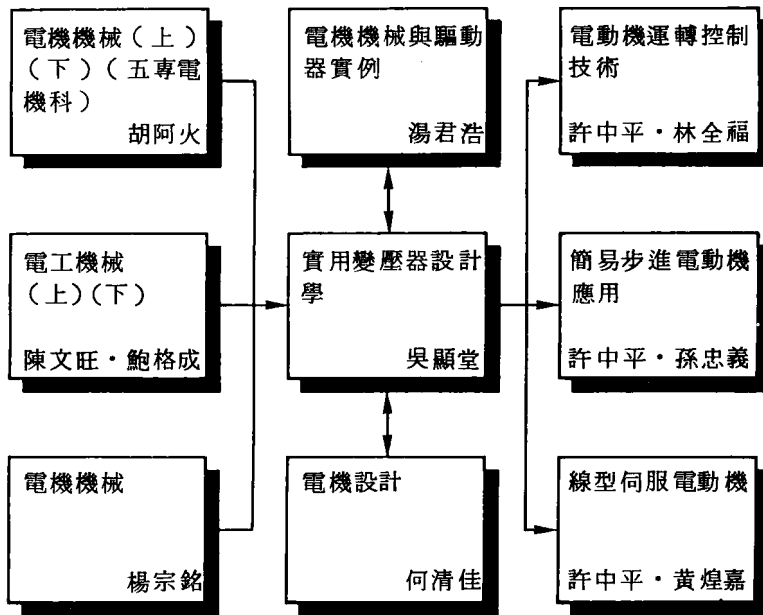


「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

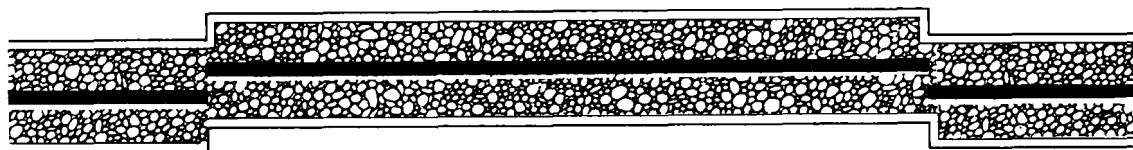
本書除了介紹變壓器的基本理論外，更重視實際設計方法與實例的應用。首先，就變壓器的各種接線法、設計電力變壓器的理論和實用之計算式加以說明，再介紹各種材料之特性，最後列舉多種變壓器的設計實例，這些實例皆具備經濟性設計的特點，相當具有實用價值，且敘述文筆流暢、條理分明，適合從事實際電力變壓器設計或擔任維修工作者閱讀。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們竭誠為您服務。

# 流程图



# 目 錄



<b>第一章 變壓器之內部接法</b>	<b>1</b>
<b>1.1 三相複圈變壓器</b>	<b>1</b>
〔1〕 $\Delta$ - $\Delta$ 接法	1
〔2〕 $\Delta$ -Y接法	1
〔3〕 Y- $\Delta$ 接法	2
〔4〕 Y-Y接法	2
〔5〕 $\Delta$ -千鳥型接法	3
<b>1.2 三相單圈變壓器</b>	<b>3</b>
〔1〕 內接 $\Delta$ 接法	3
〔2〕 伸邊 $\Delta$ 接法	4
〔3〕 Y接法	5
<b>1.3 單相複圈變壓器</b>	<b>5</b>
<b>1.4 三相二相複圈變壓器</b>	<b>6</b>
〔1〕 史谷特接法	7
〔2〕 初級端 $\Delta$ 接法或Y接法，次級端長短Y接法	12
<b>1.5 三相單相複圈變壓器</b>	<b>21</b>
〔1〕 初級端V接法，次級端反V接法	21
〔2〕 初級端V接法，次級端單三式接法	23
<b>1.6 初級端三相，次級端三相+單相之三圈式變壓器</b>	<b>24</b>
〔1〕 初級端V接法，次級端V接法，三次端反V接法	24
〔2〕 初級端 $\Delta$ 接法，次級端Y接法，三次端反V接法	26
<b>第二章 設計最經濟的變壓器之基本理論計算式</b>	<b>31</b>
<b>2.1 各種變壓器的最經濟之基本理論計算式</b>	<b>31</b>

〔1〕	三相內鐵型變壓器	31
〔2〕	單相外鐵型變壓器	36
〔3〕	單相內鐵型變壓器	40
〔4〕	三相內鐵型V/反V接法之三相 / 單相變壓器	45
〔5〕	特殊三柱型鐵心，史谷特接法之三相 / 二相變壓器	49
<b>2.2</b>	<b>K值之範圍</b>	<b>53</b>
〔1〕	三相內鐵型變壓器	54
〔2〕	單相外鐵型變壓器	54
〔3〕	單相內鐵型變壓器	55
〔4〕	三相內鐵型V/反V接法之三相 / 單相變壓器	55
〔5〕	特殊三柱型鐵心，史谷特接法之三相 / 二相變壓器	56
<b>2.3</b>	<b>最經濟的變壓器之各計算式使用時注意事項</b>	<b>56</b>
<b>第三章 設計最經濟的變壓器之實用理論計算式</b>		<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>三相內鐵型變壓器</b>	<b>58</b>
<b>3.2</b>	<b>單相外鐵型變壓器</b>	<b>60</b>
<b>3.3</b>	<b>單相內鐵型變壓器</b>	<b>62</b>
<b>3.4</b>	<b>三相內鐵型V/反V接法之三相 / 單相變壓器</b>	<b>64</b>
<b>3.5</b>	<b>特殊三柱型鐵心，史谷特接法之三相 / 二相變壓器</b>	<b>66</b>
<b>第四章 變壓器之經濟、實用計算式</b>		<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b>各種變壓器的特性諸元之實用計算式</b>	<b>69</b>
〔1〕	三相內鐵型變壓器	69
〔2〕	單相外鐵型變壓器	71
〔3〕	單相內鐵型變壓器	73
〔4〕	三相內鐵型V/反V接法之三相 / 單相變壓器	74
〔5〕	特殊三柱型鐵心，史谷特接法之三相 / 二相變壓器	76
<b>4.2</b>	<b>磁束密度之標準數值決定法</b>	<b>78</b>
〔1〕	三相內鐵型變壓器	87
〔2〕	單相外鐵型變壓器	88
〔3〕	單相內鐵型變壓器	88
〔4〕	三相內鐵型V/反V接法之三相 / 單相變壓器	89



〔5〕 特殊三柱型鐵心，史谷特接法之三相 / 二相變壓器	90
<b>第五章 標準磁性負荷</b>	<b>91</b>
5.1 浸油式變壓器	92
5.2 乾式變壓器	94
<b>第六章 鐵損失計算式</b>	<b>99</b>
<b>第七章 變壓器之特性推算公式</b>	<b>105</b>
7.1 洩漏感應係數	105
〔1〕 同心圓筒型線圈	105
〔2〕 板狀線圈	107
7.2 電 阻	110
7.3 銅損失	113
7.4 短路阻抗與阻抗電壓	114
7.5 電壓變動率	114
7.6 效 率	116
7.7 溫度上昇量	117
〔1〕 浸油自冷式變壓器	119
〔2〕 乾式變壓器	126
<b>第八章 主要材料及零件</b>	<b>135</b>
8.1 電 線	135
〔1〕 圓銅線	135
〔2〕 方形銅條	137
8.2 電磁鋼片	139
8.3 接 頭	141
〔1〕 銅 帶	141
〔2〕 螺絲與接線柱	144
8.4 鐵心之固定五金	149
8.5 薄片絕緣物	150

<b>第九章 各種變壓器之設計實例</b>	<b>155</b>
<b>9.1 單相外鐵型變壓器</b>	<b>155</b>
〔1〕 規 格	155
〔2〕 初步設計	155
〔3〕 正式設計	158
<b>9.2 單相內鐵型變壓器</b>	<b>164</b>
〔1〕 規 格	164
〔2〕 初步設計	165
〔3〕 正式設計	165
〔4〕 所需要之主要材料	178
<b>9.3 三相內鐵型變壓器</b>	<b>179</b>
〔1〕 規 格	179
〔2〕 初步設計	179
〔3〕 正式設計	181
〔4〕 所需要之主要材料	192
<b>9.4 三相內鐵 V/反 V 接法之三相 / 單相變壓器</b>	<b>194</b>
〔1〕 規 格	194
〔2〕 初步設計	194
〔3〕 正式設計	195
〔4〕 所需要之主要材料	206
<b>9.5 三相二相（史谷特接法）變壓器</b>	<b>208</b>
〔1〕 規 格	208
〔2〕 初步設計	208
〔3〕 主要材料	230
<b>9.6 三相二相（哈根接法）變壓器</b>	<b>233</b>
〔1〕 規 格	233
〔2〕 初步設計	233
〔3〕 正式設計	234
〔4〕 主要材料	244

# 1

## 變壓器之內部接法

有關三相變壓器，在這裡，我們認定各位都已相當熟悉，但是對變壓器的內部接法可能不太熟悉。所以，準備不厭其煩地，包括計算式在內，特別詳細地加以說明。以便需要檢討變壓器的特殊接法時，對各位能有所幫助。

### 1.1 三相複圈變壓器

#### 【1】 $\Delta$ - $\Delta$ 接法

將正弦波電壓加在變壓器的初級圈時，因為鐵心的遲滯作用（hysteresis），使磁束的波形出現三次諧波成分，由此而感應於 $\Delta$ 接線中的三次諧波電壓則產生無效電流，因而產生能抵消磁束中的三次諧波成分之反作用效果，使次級圈電路所感應的電壓完全不含有三次諧波成分。所以，外接電路也不會因三次諧波電壓而出現任何異常或毛病。

#### 【2】 $\Delta$ -Y接法

這種接法也因初級圈採用 $\Delta$ 接法而會產生三次諧波無效電流之消磁反作用效果，使磁束波形中的三次諧波大部分被抵消。因此，感應於次級圈的各相電壓都不會有三次諧波出現。這也就是說，採用這種接法，具有把次級圈的中性點接地也不會有三次諧波電壓出現的優點。但是初級圈採用 $\Delta$ 接法，暫態期間的衝擊電流可能遠比Y接法為大，這點必須特別留意。

### 【3】 Y-△接法

採用這種接法，因為初級圈沒有能讓三次諧波電流流動的閉環迴路，磁束波形中將出現因遲滯作用而產生的三次諧波成分。但是次級圈，因為採用△接法，所以，接往外部的電路並不會有三次諧波成分出現。

Y-△ 這種接法，若初級圈是高壓，其線圈的耐壓只要△接法的  $1/\sqrt{3}$  倍即可，有降壓以及衝擊電流較小的優點。

### 【4】 Y-Y接法

這種接法，因為初級圈與次級圈的三次諧波磁束都沒有被抵消，因此，所感應的電壓也都含有三次諧波成分。現在，假定平衡的三相之各相所含有的三次諧波電壓，分別以  $e_{3A}$ 、 $e_{3B}$ 、 $e_{3C}$  表示，則

$$e_{3A} = E_3 \sin 3\omega t$$

$$e_{3B} = E_3 \sin 3(\omega t - 120^\circ) = E_3 \sin 3\omega t$$

$$e_{3C} = E_3 \sin 3(\omega t - 240^\circ) = E_3 \sin 3\omega t$$

由於相位都相同而有類似單相之關係，因此，由圖 1.1 就可看出兩條線之間為

$$e_{AB} = e_{3A} - e_{3B} = 0$$

也就是接往外部的電路，並不會有三次諧波電流。

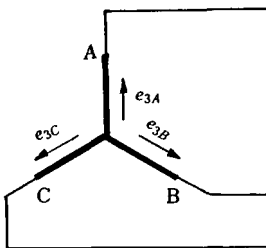


圖 1.1

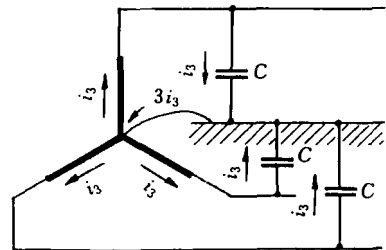


圖 1.2

不過，要是把中性點接地，接地線將如圖 1.2，構成三次諧波電流的迴路。此時，就是負載端不接地，也會經過外接電路的靜電容量  $C$ ，使中性線流過  $3i_3$  的諧波電流。

這一高次諧波，在 60 Hz 的輸電線上，是屬於頻率 180 Hz 以上的電流。其強



大的電磁場將嚴重地干擾鄰近的通訊網路，也可能在電機設備的機械結構上產生令人難予忍受的諧振作用等問題。所以，事實上，大都儘量避免採用 Y - Y 接法。

要是不能不採用 Y - Y 接法，可加上第三組線圈，再將其接成  $\Delta$  接法。然後，可接到同步進相機，或接在發電廠或變電所的電力設備上。當然，也可置於無負載狀態下使用。

### 【5】 $\Delta$ -千鳥型接法

把各相的次級圈分成兩部分，再接成如圖 1.3 的千鳥型接法，將使各相所感應的三次諧波電壓，如箭頭所示，因具有相反的方向而互相抵消。

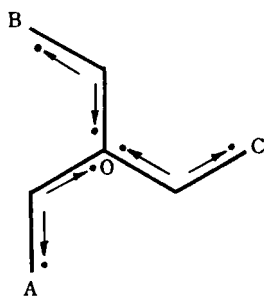


圖 1.3 千鳥型接法的三次諧波電壓之向量關係

在使用半導體元件控制的直流電源用變壓器，為消除鐵心的殘留磁性，常常採用這種接法。

## 1.2 三相單圈變壓器

### 【1】 內接 $\Delta$ 接法

由於三次諧波電壓並不會出現在  $\Delta$  接法的外接電路上，所以，採用圖 1.4 (a) 的接法最為理想。

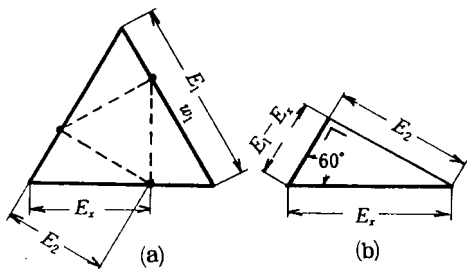


圖 1.4 內接  $\Delta$  接法