

電氣工程技術

建築設備電工學

建築物設備、電工技術參考

賴耿陽 編著

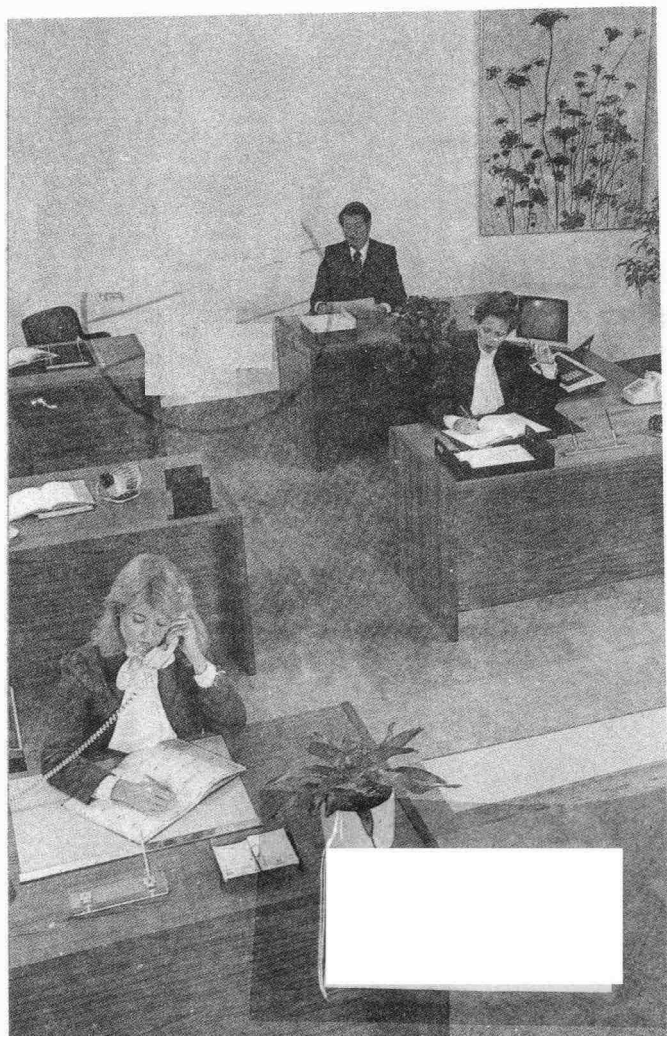


電氣工程技術

建築設備電工學

建築物設備、電工技術參考

賴耿陽 編著



中華民國八十一年一月出版

建築設備電工學

譯著者：賴耿陽

出版者：復漢出版社

地址：台南市德光街六五一號
郵政劃撥：〇〇三二五九一三號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

B 平裝 二八〇元

版權所有
翻印必究

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

建築設備的電氣技術爲電工學分野中的一小部份，但也須瞭解建築及建築相關技術——亦即空調、供排水設備工學分野。如此構成一特異的學理體系。建築設備的電氣技術大部份依據實務與經驗建立體系，最好劃歸建築設備工學的電氣部門。這表示此分野的電學不拘泥於艱澀部份，視野較廣，非電工學專家也可學通。

本書以稍不同的觀點討論電氣設備，使建築設備技術者的建築、機械、電氣技術者都能讀懂，也有助於閱讀更深入的電工學圖書。

技術表現難免利用數學式、圖表，但都盡量平易解說，相信讀者會很容易消化。

1991年12月

編者

目 次

第 1 章 建築設備用電	1
1.1.1 依負載種別分類	1
1.1.2 依電源分類	1
1.1.3 依饋電方式分類	1
1.1.4 依電氣方式分類	1
第 2 章 交流(其 1)	3
2.1 建築設備負載	3
2.2 電路 (electric circuit 或單稱 circuit)	4
2.3 W (電力) (watts , power) , V (電壓) (volt) , I (電流) (current) , R (電阻) (resistance)	6
2.4 日光燈、HID 燈的負載	8
2.5 阻抗	12
2.5.1 電路三要素	12
2.5.2 R 、 X_L 、 X_C 的電氣特色 (電壓與電流的關係)	15
第 3 章 交流(其 2)	23

3.1 前言	23
3.2 電路術語	23
(a) 正弦波交流	23
(b) 起電力	24
(c) 瞬時值、最大值	24
(d) 周波數 (頻率)	25
(e) 周期	27
(f) 弧度與電氣角	27
(g) 電氣角	28
3.3 電氣理論使用的基本事項	31
3.3.1 角速度與運動速度	31
3.3.2 弧度	32
3.3.3 三角函數的基本	32
3.3.4 電學常用的三角函數公式	32
3.3.5 三角函數的線圖	35
3.3.6 電學常用的 $y = \sin x$ 線圖例	36
3.3.7 電感與感應起電力	41
3.3.8 交流的正弦波	43

第4章 實效值

4.1 如何掌握實效值	54
-------------------	----

第5章 相位

5.1 相位的定義	59
5.2 在任意時刻的相位	60
5.3 相位的專門術語	63
5.3.1 初相位、相位角	63
5.3.2 相位差	64

第 6 章 正弦波交流與向量..... 68

6.1 正弦波交流與向量	68
6.2 向量	69
6.2.1 旋轉向量	70
6.2.2 瞬時值的向量表示	72
6.3 向量的合成	77

第 7 章 向量的複數表示法..... 84

7.1 複數	84
7.1.1 j 的性質	89
7.2 複數的方便性	95
7.3 交流電路用複數的基本計算	100
7.4 交流電路的 X_L 、 X_C 與 L 、 C 的關係	110
(a) 串聯阻抗電路	111
(b) 並聯阻抗電路	114
(c) 由電阻 R [Ω]、電抗 X [Ω] 求電流的方法	118
(d) 阻抗 [Z] 與導納 [Y] 的關係	120
7.5 建築設備的阻抗電路	127

第 8 章 單相交流電路的計算..... 133

8.1 建築設備的單相負荷	133
8.1.1 白熱燈	133
8.1.2 日光燈、HID 燈	135
8.2 $\cos \theta$	136

第 9 章 電力與功率因數..... 140

9.1 只有線圈的電路	140
-------------------	-----

9.2 只有電容器的電路	142
9.3 只有電阻的電路	144
9.4 含有 R, L, C 的阻抗電路	145

第10章 功率因數、表觀電力、電力、無效電力的關係..... 150

10.1 功率因數與電力的關係	153
10.2 電力與亮度	157
10.3 單相馬達電路	158
10.4 馬達負載電流的計算	160

第11章 三相交流電路(三相需要 $\sqrt{3}$ 的理由)..... 163

11.1 三相交流	163
11.2 三相交流的接線	168
11.2.1 星形接線或Y接線	168
11.2.2 三角接線(Δ 接線).....	176
11.3 三相交流的電流	178
11.3.1 Y接線法的電流	178
11.3.2 Δ 接線法的電流	184
11.3.3 Δ -Y, Y- Δ 接線	189
11.3.4 V-V接線法	193

第12章 三相接線法..... 200

12.1 電壓與電流的關係	200
12.1.1 三相平衡電路的電壓、電流表示法	201
12.2 阻抗的Y接線與 Δ 接線的等值換算	208

第13章 三相交流電力.....	215
練習題.....	229
解答、解説.....	234

第 1 章 建築設備用電

1-1-1 依負載種別分類

- ①電燈照明：白熱燈照明、日光燈照明、放電燈照明
- ②動力設備：單相馬達、三相馬達
- ③弱電系統：電話、通信、信號、防災、電腦（智慧系統、控制系統）

1-1-2 依電源分類

- ①常用電源：商用電源（來自電力公司的饋電）
- ②緊急用電源：以自用發電機饋電
- ③汽電共生：自用火力發電方式

1-1-3 依饋電方式分類

- ①低壓引入：600V 以下
- ②高壓引入：600V 以上～7000V 以下
- ③特別高壓：7000V 以上

1-1-4 依電氣方式分類

- ①單相 2 線式：1 ϕ 2W，100V 方式
- ②單相 3 線式：1 ϕ 3W，200V/100V 方式

③三相 3 線式： $3\phi 3W$ ，200V 方式

④三相 4 線式： $3\phi 4W$ ，173V/100V，400V/230V 方式

建築設備用電大致可如上分類，都是交流電源。建築物的電氣設備也用直流電源，但這些電源是整流為直流的 2 次電源，1 次電源仍是交流。

第2章 交流(其1)

2-1 建築設備負載

建築設備負載的90%以上使用交流電源。圖2.1例示正弦波交變電壓及電流(正弦波交流電壓電流, sine wave voltage or current), 簡稱正弦波, 此種交流以A.C表示, 這是Alternating Current的縮寫, 圖2.1示波器中的波形上下左右

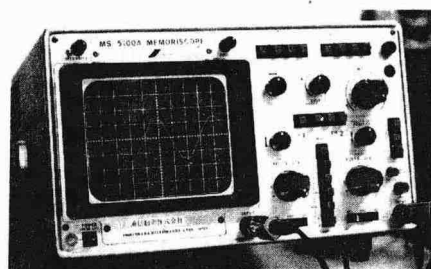


圖 2.1

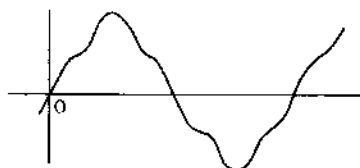


圖 2.2

對稱，稱為對稱交流（平衡）。交流未必全為此種正確的正弦波，也有圖 2.2 所示相當雜亂的波形。

建築設備用電大都為平衡負載（尤其是三相負載時，各相的大小相同），可視為正弦波交流（對稱交流），此種電的理論探討、表現也較簡單。

當初發見電時，尚未發明示波器，以各種方法說明電的現象，產生交流理論等，以數學建立完美的體系，但敘述交流理論要點之前，宜先說明電路與其表現法。

2-2 電路(electric circuit或單稱 circuit)

建築設備的電氣負載對電燈、馬達、弱電設備全以並聯接線法供給電源。圖 2.3 為電燈電路，(a)、(b)、(c)都一樣，電源為交流 100V，負載為白熱電燈 40W 10 個，先是 5 燈，其次 3 燈，以後各 1 燈。以個別開關 S 亮熄。(c)為電氣設計的配線圖法。圖 2.3 是 10 個 40W 白熱燈並聯接線於 100V 單相 2 線式電路，其中一燈切斷時，其他 9 個仍可使用，這是並聯電路的特色。

以 100V 電壓使用 40W 電燈時，電流 $I = \frac{W}{V} = \frac{40}{100} = 0.4$

[A]，10 個電燈有 $0.4A \times 10 \text{ 燈} = 4A$ 的電流成此電路的合成電流，此 40W 燈的電阻 R 成為 $R = \frac{V}{I} = \frac{100}{0.4} = 250$ [Ω]。但

在建築設備用電，負載的電流值與供應電壓為設計或施工上的要素，除了特殊情形外，不求電阻。所以，重要的是

$$W(\text{電力}) = \text{電壓} \times \text{電流} = V \cdot I \quad (2.1)$$

由此得

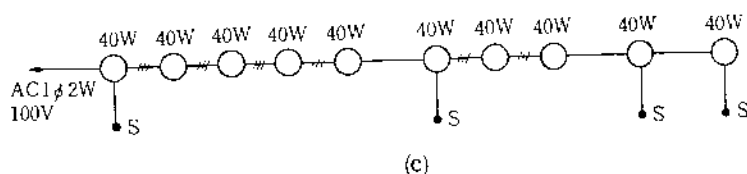
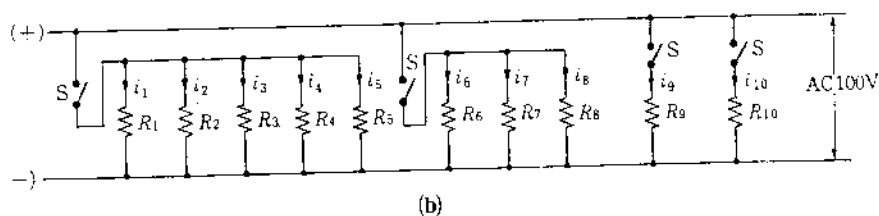
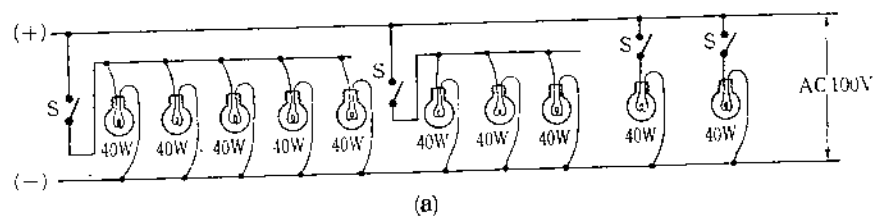


圖 2.3

$$I = \frac{W}{V} \quad (2.2)$$

在歐姆定律，電壓 = 電流 × 電阻，電流 = $\frac{\text{電壓}}{\text{電阻}}$

$$V = I \cdot R$$

$$I = \frac{V}{R} \quad , \quad R = \frac{V}{I}$$

(2.3)

式(2.3)為電路理論上重要的基本公式。亦即，以電阻除電壓可得電流，與 W 的關係為

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{W}{V} &= \frac{VI}{V} = I \\
 \frac{W}{V} &= \frac{VI}{IR} = \frac{V}{R} = I \\
 W &= VI = IR \times I = I^2 R
 \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

交流電路若只像白熱燈可用 $I = \frac{V}{R}$ 或 $\frac{W}{V} = I$ 簡單計算，就無問題，不過，此式不適用於日光燈、馬達電路。

2-3 W(電力)(watts, power) V(電壓)(Volt), I(電流)(current), R(電阻)(resistance)

圖 2.4 表示交流電源，圓內的～表示周波數（frequency，頻率）。(b)的記號表示直流電源（source of direct current）。

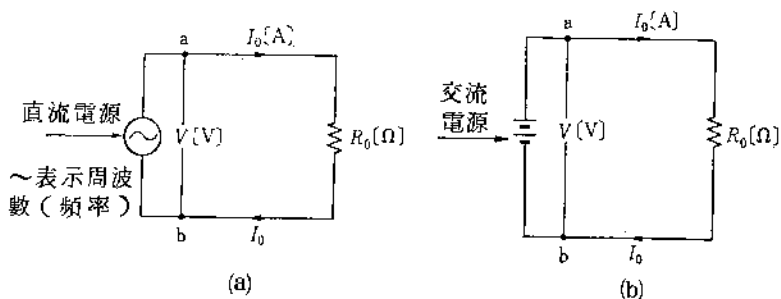


圖 2.4

。在此電路中，電壓 V 伏特間的合成電阻 R_0 （圖 2.3 中為 $R_1 \sim R_{10}$ 的電阻合計）、且通合成電流 I_0 （ $i_1 \sim i_{10}$ 之合計）的話， R_0 為此電路的負載，此負載消費的是電力 W 。此電力變成熱、光，作功。

現設 $I_0 = I$, $R_0 = R$, 則其做功成爲下示的電力

$$V \times I_0 = I \cdot R \cdot I = I^2 R = W \quad (2.5)$$

R_0 發生的熱爲 $I^2 R$, 此稱焦耳熱 (Joule heat) 。圖 2.5 中 , 連接某負載 , 以電壓計確認電壓 100V , 閉合開關 S , 電流計指示 4 A 的話 , 此負載成爲

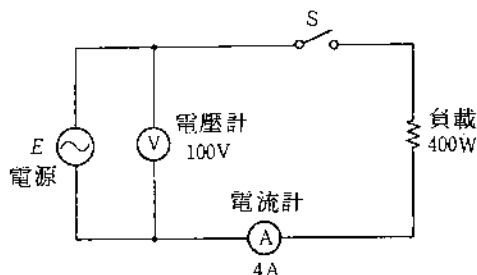


圖 2.5

$$100[\text{V}] \times 4[\text{A}] = 400[\text{W}]$$

由 $I^2 R = VI$ 得 $4^2 R = 400[\text{W}]$

$$\therefore R = \frac{W}{I^2} = 25[\Omega]$$

若負載爲 40W 的白熱燈 , 10 燈成爲 400W 。

1 燈的電流爲

$$i = \frac{40[\text{W}]}{100[\text{V}]} = 0.4[\text{A}]$$

1 燈的電阻爲

$$R_1 = \frac{V}{I} = \frac{100}{0.4} = 250[\Omega]$$

此合成電阻爲

$$\begin{aligned}
 R_0 &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_{10}}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{250} + \frac{1}{250} + \frac{1}{250} + \cdots + \frac{1}{250}} = \frac{1}{\frac{10}{250}} = 25[\Omega]
 \end{aligned}$$

此時的功率，亦即電力 = $I^2 R_0 = 4^2 [\text{A}] \times 25 [\Omega] = 400 [\text{W}]$ 。

2-4 日光燈、HID 燈的負載

用日光燈 (fluorescent light) 40W 取代圖 2.3 的白熱燈 (incandescent light)，以圖 2.5 的電流計測定，電流計指示 $6.666\text{A} \approx 6.7\text{A}$ 。日光燈標示 40W，電壓 $V = 100\text{V}$ ，10 燈合計 400W，容量與白熱燈相同。可是電流大，很奇怪！是不是因日光燈比白熱燈亮而通較多的電流？不是的，先看日光燈電路，如圖 2.6 所示，燈的兩側有電阻，燈中封入水銀粒子，通電的話，被電阻加熱的水銀粒子蒸發，成爲電子的移動導體，此移動電子刺激燈內的螢光物質而發光，爲一種放電作用，爲

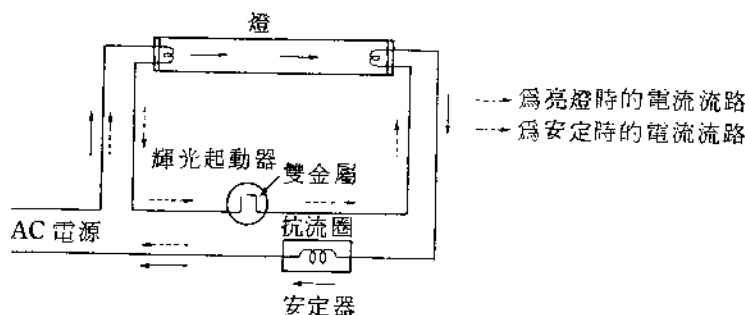


圖 2.6