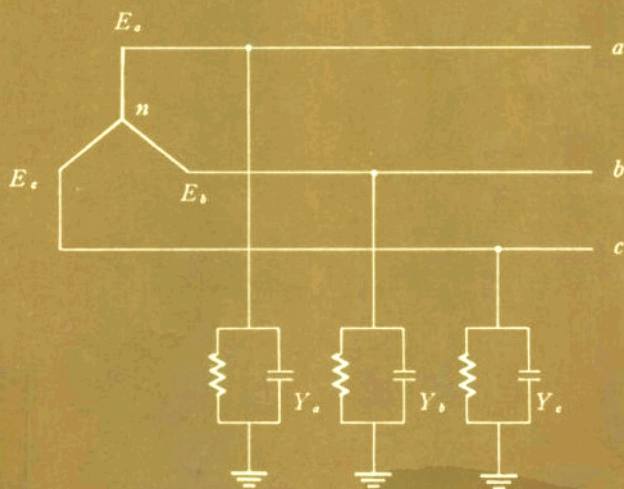


電力系統解析

黃聰亮 編著



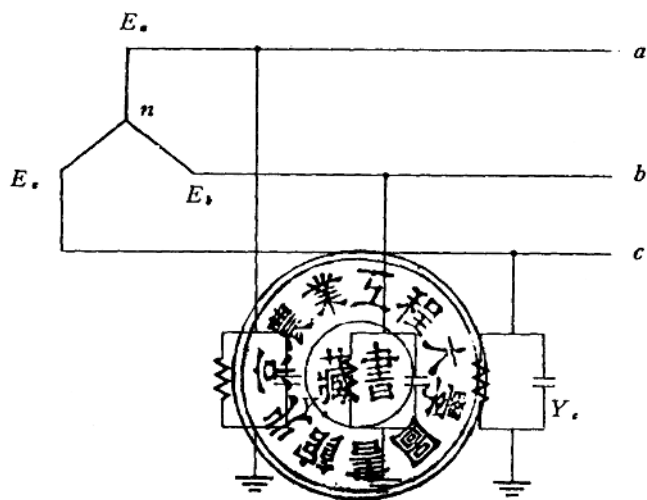
UPER

超級科技圖書社

7M711
6

電力系統解析

黃聰亮 編著



SUPER 超級科技圖書社

電力系統解析

Power System Analysis and Problems Solving

版權所有

超級

翻印必究

圖書編號 007

作者 黃聰亮

發行人 林國富

發行部 超級科技圖書社

業務部 永和市林森路50號4樓

電話 9251021

郵政劃撥帳號 0519973-7

行政院新聞局登記證局版台業第2405號

承印者 申全盛彩色印刷廠

中和市員山路294巷9號

初版 中華民國七十四年五月

定價 貳佰陸拾元整

目 錄

第一章 基本概念	1
1-1 單向交流線路中之電力	1
1-2 平衡三相線路中之電力	3
1-3 複功率與阻抗間之關係	4
1-4 電容器補償問題	5
1-5 兩匯流排間功率的傳輸	6
1-6 無效功率對系統的影響	8
1-7 負載特性的研究	8
問題解析	12
第二章 系統模型與電力系統之表示法	47
2-1 同步機之電路模型	47
2-2 同步機之激磁效應	48
2-3 變壓器的解法	49
2-4 標么值系統	54
2-5 單線圖之繪製	55
2-6 自耦變壓器與三繞組變壓器	56
問題解析	58
第三章 輸電線之串聯與並聯阻抗	101

3-1	導體之形式與電阻	101
3-2	電感之定義	103
3-3	導體由於內部磁流而產生之電感	104
3-4	一孤立導體外兩點間之磁通鏈	105
3-5	單相兩平行線路之電感	106
3-6	幾何平均距離 (簡稱 GMD)	108
3-7	合成導體電路之電感	108
3-8	間隔相等之三相電路之電感	109
3-9	不對稱三相線路之電感	110
3-10	複導體與三相線路並聯	111
3-11	電容的意義與長導體的電場分佈	112
3-12	兩線線路之電容	113
3-13	距離相等之三相線路之電容	114
3-14	不等距離之三相線對地電容	117
3-15	大地效應對三相輸送線之影響	119
3-16	複導體	122
3-17	並聯輸送線路之電容	124
	問題解析	126

第四章 輸電線電流與電壓之關係

147

4-1	線路的分類	147
4-2	短程輸電線	147
4-3	中程輸電線	148
4-4	長輸電線之等值線路	152
4-5	輸電線路之電力潮流與電力圓線圖	154
	問題解析	160

第五章 網路方程式及解法 183

5-1 以星-網 (star-mech) 變換法消除節點·····	183
5-2 漣流排之導納及阻抗矩陣·····	192
5-3 迴路分析法(支路-阻抗轉換法)·····	192
5-4 切集分析·····	197
5-5 如何由切集分析寫出切集方程式·····	199
問題解析·····	202

第六章 電力潮流控制原理 215

6-1 電容器組·····	215
6-2 由變壓器來控制電力潮流·····	217
問題解析·····	221

第七章 電力系統之經濟調度 251

7-1 經濟調度之意義·····	251
7-2 電廠內單元間之負載分配·····	252
7-3 輸電損失表為電廠發電量之函數·····	253
7-4 考慮輸電損失之電廠間負載分配·····	255
問題解析·····	257

第八章 同步機之三相對稱故障 275

8-1 RL 串聯電路之暫態現象·····	275
8-2 短路電流與同步機之電抗·····	276
8-3 有載情況下之短路電流求法·····	277
8-4 戴維寧法求故障電流·····	278

8-5 滙流排阻抗矩陣法應用於故障之計算·····	280
問題解析·····	285
第九章 對稱成份	319
9-1 對稱分量分析法·····	319
9-2 以對稱成份來表示功率·····	321
9-3 非對稱性串聯阻抗·····	322
9-4 變壓器間相位移的關係·····	327
問題解析·····	332
第十章 非對稱成份與非對稱負載之進一步考慮	357
問題解析·····	358
第十一章 非對稱故障	375
11-1 前言·····	375
11-2 電力系統之非對稱故障·····	381
11-3 以滙流排阻抗矩陣法來分析非對稱故障·····	384
問題解析·····	389
第十二章 電力系統穩定度	429
12-1 穩定度問題·····	429
12-2 轉子動力學及搖擺方程式·····	430
12-3 搖擺方程式更進一步的考慮·····	431
12-4 功率角方程式·····	433
12-5 同步功率係數與振動頻率·····	434
12-6 等面積準則·····	435

12-7	最大清除角 δ_{cr} 之求法	437
12-8	以逐步解法劃出搖擺曲線	438
	問題解析	439

第十三章 配電特性與設計 467

13-1	交流配電線路的電壓降	467
13-2	配電線路效率與損失率計算	468
13-3	配電方式的比較	470
13-4	配電線路電壓調整	472
13-5	經桿拉線及角度拉線受力計算	474
13-6	弛度與線間距離	477
13-7	地下電纜	481
13-8	配電系統——一次與二次配電	486
	問題解析	488

第十四章 輸配電系統的保護 511

14-1	電暈	511
14-2	避雷器	514
14-3	架空地線	515
14-4	中線點接地	517
14-5	配電線路主要設備名稱及位置	521
14-6	變壓器之保護	523
14-7	電驛	524
14-8	斷路器	528
14-9	避雷器的硬體	529
14-10	電抗器	530

問題解析.....	538
-----------	-----

附 錄	553
-----	-----

(一) 67 年高考電力系統試題	555
(二) 68 年高考電力系統試題	557
(三) 69 年高考電力系統試題	559
(四) 70 年高考電力系統試題	561
(五) 71 年高考電力系統試題	563
(六) 72 年高考電力系統試題	566
(七) 72 年 7 月電機技師檢覈輸配電試題	567
(八) 73 年高考電力系統試題	569
(九) 73 年 11 月電機技師檢覈輸配電試題.....	570
(十) 70 年清大電機研究所電力系統試題	572

第一章

基本概念

1-1 單向交流線路中之電力

在任一時刻，一負載所消耗之瞬時電力之瓦數為此負載之端電壓瞬時值與此負載中瞬時電流之乘積。若電壓及電流以下式表示：

$$v_{a..}(t) = V_{\max} \cos \omega t, \quad i_{a..}(t) = I_{\max} \cos(\omega t - \theta) \quad (1-1)$$

則瞬時電力為

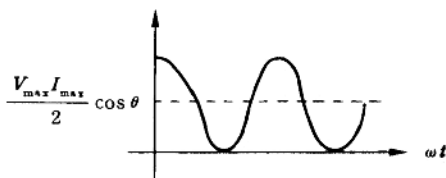
$$P(t) = v_{a..} i_{a..} = V_{\max} I_{\max} \cos \omega t \cos(\omega t - \theta) \quad (1-2)$$

式中 θ 角在電流滯後電壓時為正而電流超前電壓時為負。

若將 (1-2) 式用三角運算法可寫成

$$P(t) = \underbrace{\frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \cos(1 + \cos 2\omega t)}_{\text{第一部份}} + \underbrace{\frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \sin \theta \sin 2\omega t}_{\text{第二部份}} \quad (1-3)$$

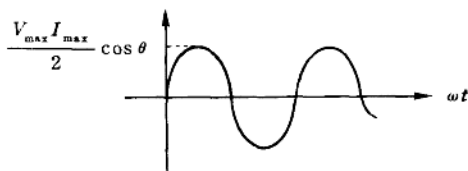
若將 $P(t)$ 分成兩部份分別繪圖如下：



第一部份圖形

圖 1-1 (a)

2 電力系統解析



第二部份 圖形

圖 1 - 1 (b)

而整個 $P(t)$ 的圖形則如下所示：

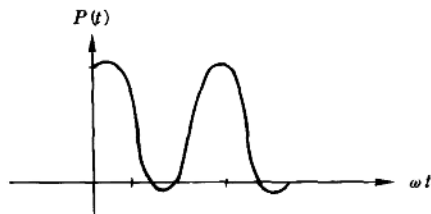


圖 1-1 (c)

由圖 1 - 1 (a)(b)(c)可知 $P(t)$ 有時正有時負，但若分成兩部份則第一部份均為正，稱之為有效功率，第二部份為等值之正負變化，稱之為無效電力。

一般交流電之功率指平均功率而言，則將 (1-3) 式求平均值，可得平均功率為

$$P = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \cos \theta = |V| |I| \cos \theta \quad (1-4)$$

而無效功率

$$Q = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2} \sin \theta = |V| |I| \sin \theta \quad (1-5)$$

P ， Q 因次應相同，但為分辨起見，將 P 之單位定為瓦而 Q 之單位定為乏。

若將 P 寫成實部而 Q 寫成虛部，則

$$S = P + jQ \quad (1-6)$$

S 稱為複功率，而

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1-7)$$

稱為視在功率，單位為伏安。

若將 (1-1) 之電流、電壓分別以相量表示如

$$V = |V| \angle 0^\circ, \quad I = |I| \angle -\theta$$

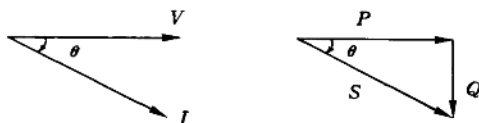


圖 1-2

若將正之虛功率 Q 往下畫則由圖 1-2 可知 V ， I 與 P ， S 間之夾角均為 θ ，且

$$\begin{aligned} S &= P + jQ = |V| |I| \cos \theta + j |V| |I| \sin \theta \\ &= VI^* \end{aligned} \quad (1-8)$$

一簡單串聯阻抗 $Z = R + jX$ ，以 $|I| |Z|$ 代替 $|V|$ 得

$$\begin{aligned} P &= |I|^2 |Z| \cos \theta \\ &= |I|^2 R \\ Q &= |I|^2 |Z| \sin \theta \\ &= |I|^2 X \end{aligned} \quad (1-9)$$

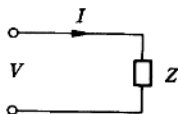


圖 1-3

1-2 平衡三相線路中之電力

若線路為平衡三相線路，則取其任一相電力乘 3，而得其三相電力值。 V_p ， I_p 分別為相電壓及相電流， V_L ， I_L 為線電壓及線電流，

4 電力系統解析

三相電力值爲 $P = 3 |V_P| |I_P| \cos \theta_P$ ， θ_P 爲 V_P 與 I_P 所夾的角。

若爲 Y 連接

$$|V_P| = \frac{|V_L|}{\sqrt{3}} \quad |I_P| = |I_L|$$

$$P = \sqrt{3} |V_L| |I_L| \cos \theta_P$$

$$Q = 3 |V_P| |I_P| \sin \theta_P = \sqrt{3} |V_L| |I_L| \sin \theta_P$$

三相伏安值爲

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} |V_L| |I_L|$$

若爲 Δ 連接

$$|V_P| = |V_L| \quad |I_P| = \frac{|I_L|}{\sqrt{3}}$$

$$P = 3 |V_P| |I_P| \cos \theta_P = \sqrt{3} |V_L| |I_L| \cos \theta_P \quad (1-10)$$

$$Q = 3 |V_P| |I_P| \sin \theta_P = \sqrt{3} |V_L| |I_L| \sin \theta_P \quad (1-11)$$

$$|S| = \sqrt{3} |V_L| |I_L| \quad (1-12)$$

所以不論 Y 或 Δ 連接， P ， Q ， $|S|$ 之表示均相同。

1-3 複功率與阻抗間之關係

Y 連接：如圖 1-4 (a) 所示三相

Y 接阻抗，設

$$V_L = |V_L| \angle 0^\circ$$

$$\text{則 } V_P = \frac{|V_L|}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ$$

$$\text{而 } I_L = I_P = \frac{V_P}{Z_Y} = \frac{\frac{|V_L|}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ}{Z_Y}$$

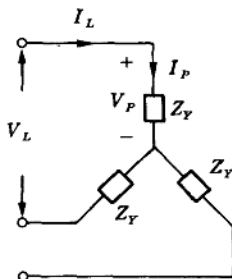


圖 1-4 (a)

故三相總複功率

$$S_Y = 3V_P I_P^* = \frac{|V_L|^2}{Z_Y^*} \quad (1-13)$$

Δ 連接：如圖 1-4(b) 所示三相 Δ 接阻抗，設 $V_P = V_L = |V_L| \angle 0^\circ$ 則

$$I_P = \frac{V_L}{Z_\Delta} = \frac{|V_L| \angle 0^\circ}{Z_\Delta}$$

故三相總複功率為

$$S = 3V_P I_P^* = \frac{3|V_L|^2}{Z_\Delta^*} \quad (1-14)$$

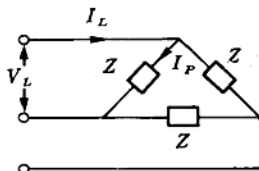


圖 1-4 (b)

1-4 電容器補償問題

Y 接電容器

$$X_C = \frac{|V_L|^2}{Q_Y}$$

因
$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

故
$$C_Y = \frac{Q_Y}{2\pi f |V_L|^2} \quad (1-15)$$

其中 Q_Y 為由補償之 Y 接電容器所需供應之 Q_Y 。

9 電力系統解析

△接電容器：

$$X_c = \frac{3 |V_L|^2}{Q_\Delta}$$

因
$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

故
$$C = \frac{Q}{6\pi f |V_L|^2}$$

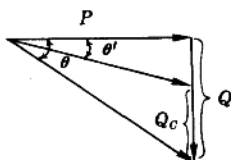


圖 1-5

如圖 1-5 所示原來之負載為 P 及 Q ，由電力三角形知原來之功因角 θ ，若欲改善功因角至 θ' ，則電容器所需供應之 Q_c 為

$$Q_c = P (\tan \theta - \tan \theta') \quad (1-17)$$

1-5 兩匯流排間功率的傳輸

如圖 1-6 所示

$$I = \frac{V_i - V_j}{Z}$$

可得 $S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i I^* = V_i \left(\frac{V_i - V_j}{Z} \right)^*$

$$= \frac{|V_i|^2 - |V_i| |V_j| e^{j(\angle V_i - \angle V_j)}}{R - jX} \quad (1-18)$$

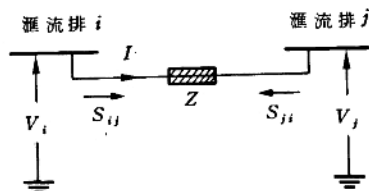


圖 1-6

$$\begin{aligned}
 S_{11} &= P_{11} + jQ_{11} = V_1 (-I)^* \\
 &= \frac{|V_2|^2 - |V_1| |V_2| e^{j(\angle V_1 - \angle V_2)}}{R - jX} \quad (1-19)
 \end{aligned}$$

令 $\delta = \angle V_1 - \angle V_2$ ，則

$$\begin{aligned}
 P_{11} &= \frac{1}{R^2 + X^2} (R |V_1|^2 - R |V_1| |V_2| \cos \delta + |V_1| |V_2| \sin \delta) \\
 Q_{11} &= \frac{1}{R^2 + X^2} (X |V_1|^2 - X |V_1| |V_2| \cos \delta - R |V_1| |V_2| \sin \delta) \\
 P_{22} &= \frac{1}{R^2 + X^2} (R |V_2|^2 - R |V_1| |V_2| \cos \delta - X |V_1| |V_2| \sin \delta) \\
 Q_{22} &= \frac{1}{R^2 + X^2} (X |V_2|^2 - X |V_1| |V_2| \cos \delta + R |V_1| |V_2| \sin \delta)
 \end{aligned}$$

若 $R = 0$ ，則

$$\begin{aligned}
 P_{11} &= \frac{|V_1| |V_2|}{X} \sin \delta \\
 Q_{11} &= \frac{1}{X} (|V_1|^2 - |V_1| |V_2| \cos \delta) \quad (1-20)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{22} &= -\frac{|V_1| |V_2|}{X} \sin \delta \\
 Q_{22} &= \frac{1}{X} (|V_2|^2 - |V_1| |V_2| \cos \delta) \quad (1-21)
 \end{aligned}$$

1-6 無效功率對系統的影響

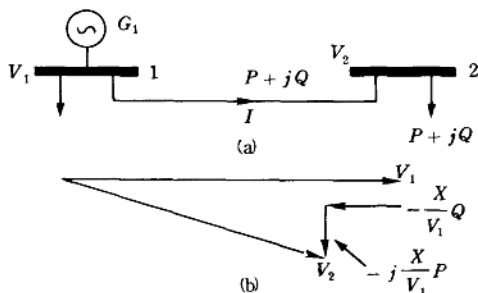


圖 1-7

由圖 1-7(a)所示，若保持滙流排 1 之電壓為定值，即

$$|V_1| = \text{常數}$$

當由滙流排 1 經輸電線 $Z = jX$ 將 $P + jQ$ 的複功率送至滙流排 2，則由圖 1-7(b)之相量圖知 V_2 之電壓受 Q 之影響很大，即若由滙流排 1 送 Q 至滙流排 2 而保持 V_1 不變，則 V_2 將下降。

由於電壓的變動會產生電燈閃爍，由圖 1-7 知，閃爍電壓變動

$$\Delta V = \frac{XQ}{V}$$

要改善電燈閃爍，必須減小 Q 或 X ，其常用方法為

1. 並聯同步調相機
2. 串聯電容器
3. 串聯緩衝電抗器
4. 上列方法聯合使用

1-7 負載特性的研究

需量：某一設備的需量即在某一特定的期間內設備的平均負載，而此特定期間一般為 15 分鐘。