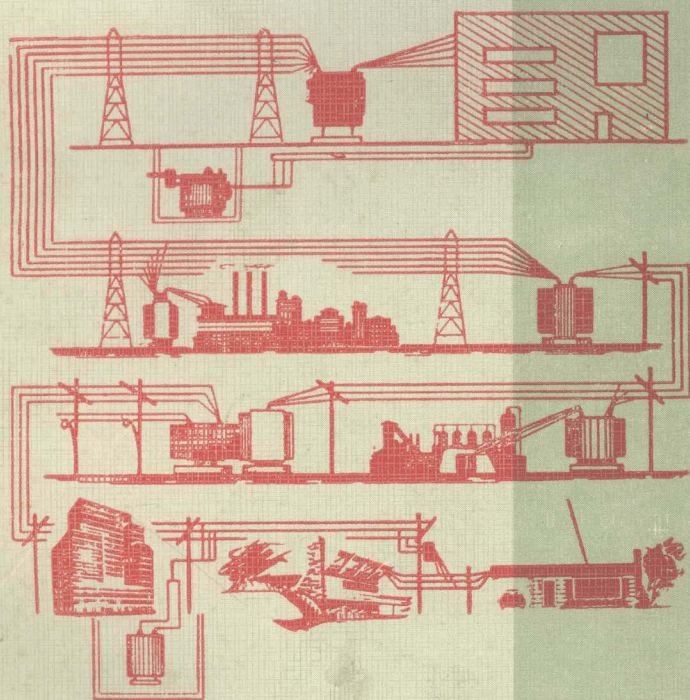


電力工程

王茂源編著



大中國圖書公司印行



版權所有・翻印必究

編著者：王 茂 源
發行人：薛 瑜
出版者：大中國圖書公司

台北市重慶南路一段66號

電話：3311433 郵撥：2619號

登記證：局版台業字第0653號

中華民國七十三年八月再版

基本定價三元

編號：849

編輯大意

- 一、本書係遵照教育部六十五年六月新頒布之五年制及二年制專科學校，電子工程科暫行課稅標準編輯而成，除供專科學校教學外，且可供電機、電子工程從業人員自修及參考之用。
- 二、本書全一冊，內容包含「電力輸配」、「直流電機」及「交流電機」三大部份，供第三學年上學期，每週授課三小時，一學期授完。
- 三、本書內容充實，且重實際，盡量避免繁雜之公式及高深之數學運算，俾使學者易於接受。
- 四、本書所用單位，均為實用單位，以利教學。
- 五、本書所用專有名詞，均以教育部公布之電機工程名詞為準，並附註原文，藉免曲解。
- 六、本書盡量利用插圖，且精確詳明，以使學者易於領會，並補文字說明之不足。
- 七、本書之編撰校核，雖力求嚴謹，但錯誤恐仍難免，尚祈學人先進，隨時惠予指正。
- 八、本書承蒙陳國泉及許建正二位助教擔任校對，使本書能儘快出版，並減少錯誤，特此致謝。

編者謹識

電 力 工 程

目 錄

第一章 概述(電力基本概念)

§ 1-1 電力系統簡介.....	1
§ 1-2 輸電及配電(單相及三相).....	4
§ 1-3 輸電及配電電壓.....	5
§ 1-4 頻 率.....	7
§ 1-5 架空線路及地下電纜輸配電線路.....	8
習題一	12

第二章 導線之種類及其性質

§ 2-1 概 說.....	13
§ 2-2 導線之種類.....	16
§ 2-3 線規及線號.....	18
§ 2-4 各種金屬導線.....	19
§ 2-5 集膚效應.....	22
§ 2-6 架空電線之安全電流量.....	23
習題二.....	25

第三章 配電方式

§ 3-1 串聯及並聯或配電.....	26
§ 3-2 直流與單相交流配電.....	30
§ 3-3 三相交流配電.....	33
習題三.....	35

第四章 配電線路電壓降下之計算

§ 4-1 電壓降下率及變動率.....	37
----------------------	----

§ 4-2 直流配電電壓降下之計算	38
§ 4-3 單相、三相交流配電電壓降下之計算	45
習題四	48

第五章 直流電機

§ 5-1 旋轉線圈所產生之電動勢其大小及方向	51
Δ 5-1.1 導體的感應電勢	51
Δ 5-1.2 應電勢的方向及楞次定律	53
Δ 5-1.3 應電勢的串聯	54
Δ 5-1.4 從交流得單向直流	56
§ 5-2 載有電流之導體在磁場中所受電磁力之大小及方向	57
Δ 5-2.1 載有電流導體的力	57
Δ 5-2.2 力的方向	58
Δ 5-2.3 轉 矩	59
§ 5-3 直流電機的構造	62
Δ 5-3.1 電機的主要部份	62
Δ 5-3.2 極心及極掌	63
Δ 5-3.3 磁場繞組	64
Δ 5-3.4 電樞的結構	64
Δ 5-3.5 電樞繞組	65
Δ 5-3.6 換向器或整流子	69
Δ 5-3.7 電刷及刷握	69
§ 5-4 直流發電機之種類及特性	71
Δ 5-4.1 電樞的感應電勢	71
Δ 5-4.2 無載磁化曲線	72
Δ 5-4.3 磁場電阻直線	73

目 錄	3
Δ 5-4-4 直流發電機的分類	74
Δ 5-4-5 補償繞組	79
Δ 5-4-6 換向磁極	79
§ 5-5 直流電動機的種類及特性	80
Δ 5-5-1 反電勢	80
Δ 5-5-2 電動機的速率	82
Δ 5-5-3 電樞反應	83
Δ 5-5-4 直流電動機的種類	84
習題五	89
第六章 變壓器	
§ 6-1 電動勢之產生	91
§ 6-2 磁感應電勢之大小及方向	92
Δ 6-2-1 磁感應電勢之大小	92
Δ 6-2-2 磁感應電勢之方向	94
§ 6-3 變壓器原理及構造	95
Δ 6-3-1 變壓器的基本原理	95
Δ 6-3-2 內鐵式、外鐵式鐵心及線圈	96
Δ 6-3-3 絕緣套及油櫃	99
Δ 6-3-4 理想變壓器及安培匝數	101
Δ 6-3-5 漏磁電抗	103
§ 6-4 電壓調整及效率	104
Δ 6-4-1 等效電路	104
Δ 6-4-2 相量圖形	110
Δ 6-4-3 電壓調整率	113
Δ 6-4-4 變壓器之試驗	118
Δ 6-4-5 變壓器之效率	125

Δ 6-4·6 全日效率·····	127
§ 6-5 自耦變壓器·····	129
§ 6-6 變壓器使用法·····	133
Δ 6-6·1 冷却方法·····	133
Δ 6-6·2 極性決定法·····	135
Δ 6-6·3 並聯運用·····	137
§ 6-7 三相變壓器·····	139
Δ 6-7·1 Y—Y接線變壓器·····	139
Δ 6-7·2 Δ—Δ接線變壓器·····	141
Δ 6-7·3 Y—Δ接線變壓器·····	143
Δ 6-7·4 Δ—Y接線變壓器·····	145
Δ 6-7·5 V—V接線變壓器·····	146
§ 6-8 比壓器及比流器·····	147
§ 6-9 定電流變壓器·····	150
§ 6-10 感應電壓調整器·····	152
習題六·····	155

第七章 交流發電機

§ 7-1 基本原理及構造大要·····	158
Δ 7-1·1 基本原理·····	158
Δ 7-1·2 構造大要·····	160
§ 7-2 電勢產生及波形，以及頻率公式·····	164
§ 7-3 電壓公式·····	168
Δ 7-3·1 每相感應電勢·····	168
Δ 7-3·2 繞阻因數·····	171
習題七·····	179

第八章 同步發電機

§ 8-1 基本構造及原理	181
Δ 8-1.1 基本構造	181
Δ 8-1.2 運用原理	182
§ 8-2 同步電動機的起動方法及追逐作用	183
§ 8-3 同步電動機的 V 型曲線	185
§ 8-4 同步電動機的應用	186
習題八	189

第九章 三相感應電動機

§ 9-1 類型及構造	191
Δ 9-1.1 構造型式	191
Δ 9-1.2 感應電動機之類型	192
§ 9-2 旋轉原理	196
Δ 9-2.1 旋轉磁場	196
Δ 9-2.2 旋轉磁場的速率	203
Δ 9-2.3 靜止時的轉矩	204
Δ 9-2.4 轉差率與運轉的情況	208
Δ 9-2.5 運轉時的轉矩	211
§ 9-3 損失，效率及等效電路	214
Δ 9-3.1 損失及效率	214
Δ 9-3.2 感應電動機的等效電路	219
§ 9-4 改變旋轉方向	221
§ 9-5 啟動三相感應電動機之方向	222
§ 9-6 三相感應電動機速率控制方法	227
習題九	231

第十章 單相交流電動機

§ 10-1 單相感應電動機之構造	233
-------------------	-----

§ 10-2	感應機之磁通與磁勢	234
§ 10-3	各種單相交流電動機	236
Δ 10-3.1	分相電動機	236
Δ 10-3.2	電容式電動機	240
Δ 10-3.3	排斥式電動機	245
Δ 10-3.4	蔽極式電動機	249
Δ 10-3.5	交流串激電動機	253
Δ 10-3.6	磁阻起動電動機	255
Δ 10-3.7	單相同步電動機	256
§ 10-4	馬達速率控制方法	259
Δ 10-4.1	具有鼠籠式轉子馬達之變速	259
Δ 10-4.2	串激式電動機之變速	260
§ 10-5	單相感應電動機之維護及運用	263
Δ 10-5.1	單相感應電動機之維護	263
Δ 10-5.2	單相感應電動機之運用	265
	習題十	266

第十一章 電壓調整及功率因數之改善

§ 11-1	電壓調整之利益	267
Δ 11-1.1	發生電壓調整之原因	267
Δ 11-1.2	電壓變動對用電設備之影響及利益	268
§ 11-2	電壓與功率因數之調整	271
Δ 11-2.1	電壓之調整	271
Δ 11-2.2	功率因數之調整	273
Δ 11-2.3	改善功率因數之利益	275
§ 11-3	調整電壓用調相機之容量	276
§ 11-4	改善功率因數用調相機之容量	283

§ 11-5 電壓——一定與功率因數提高之增益.....	286
習題十一.....	287
附錄一 單心硬銅線.....	289
附錄二 美國線規標準軟銅在 20° C	290
附錄三 中英文名詞對照表.....	292

電力工程

第一章 概述(電力基本概念)

§ 1-1 電力系統簡介

所謂電力系統 (Power System)，係由發電單位一直到用戶之供電所形成一連貫之系統。早年供電取單獨經營方式，亦即在局部供電區內之發電機供應該區內用戶使用。後來由於大量電力之需要性，可靠性及經濟性等原因，而將所有輸電線並聯一起，構成一大而完整的電力系統。

由於水力、火力、核能等之發電廠多半分佈於偏遠地區，距離負載中心遙遠，而長距離大電力輸送又產生電壓降落 (Voltage Drop)，以及線路損失 (Line Loss) 等問題。解決這些問題最好方法為提高輸電電壓，降低輸送電流。

電力系統通常可分為(1)發電廠，(2)一次輸電線路，(3)一次變電所，(4)二次輸電線路，(5)二次變電所，(6)配電饋線，(7)一般用戶，圖 1-1 所示為電力系統之流程圖，圖 1-2 所示為電力系統之簡易圖形。先由發電廠發出電力，若為水力發電，其電壓通常是 $3.3 \sim 11\text{KV}$ ；若為火力發電，其電壓通常是 $11 \sim 24\text{KV}$ ，這電壓經過設在發電廠的電力變壓器 (Power Transformer) 升高電壓到適合於大功率長距離輸送值，通常在 161KV 以上，然後輸電線輸送到遠方需電地區郊外的大變電所，此輸送線稱為一次輸電線路，而變電所稱為一次

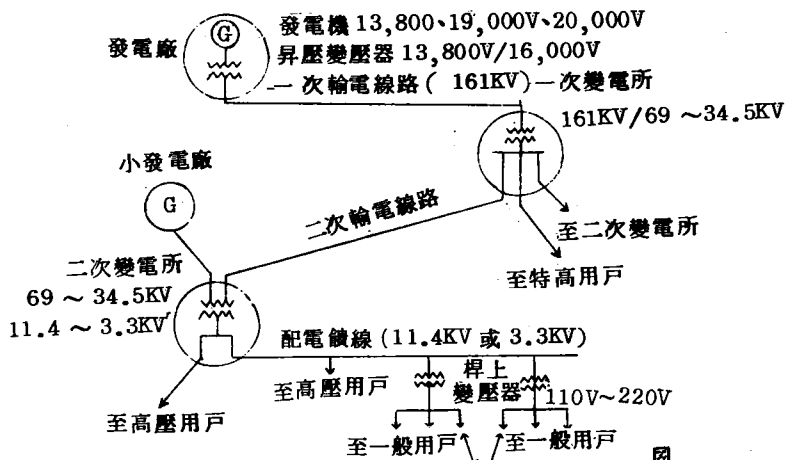


圖 1-1 電力系統之流程圖

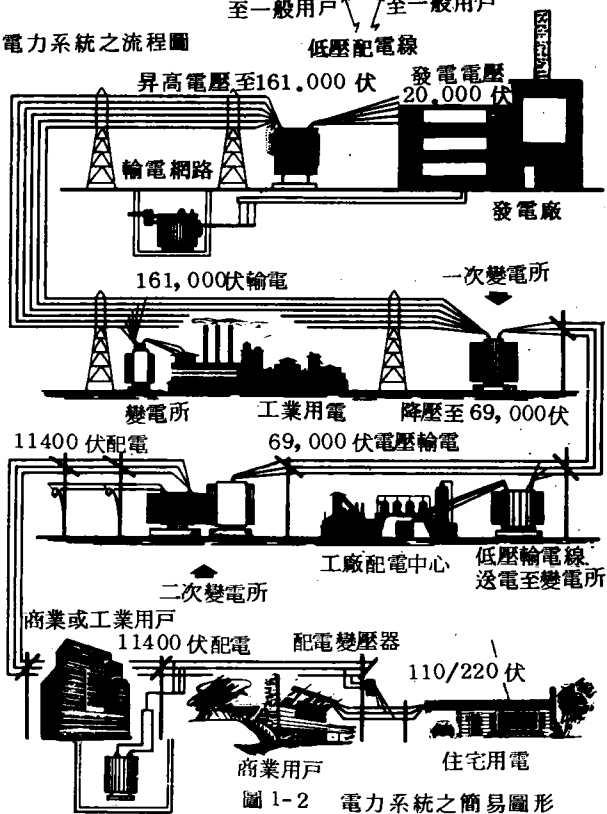
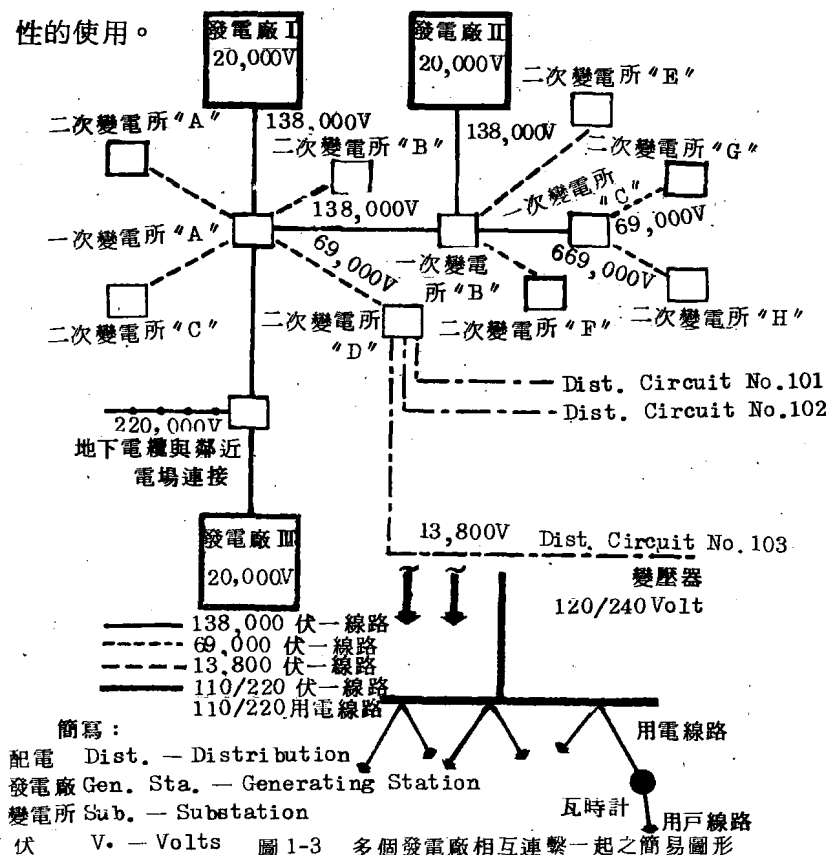


圖 1-2 電力系統之簡易圖形

變電所。一次變電所將 161KV 之電壓降低至 69~34.5KV，經過二次輸電線路而至二次變電所。二次變電所再把電壓降低到 11.4~3.3 KV，用低電壓輸電線，即配電饋線至需電地區內的小變電所，或直接用桿上變壓器將電壓降至 220~110 V，以供用戶使用。

以上說明某一單獨電力系統的結構。爲了達到理想及充份的電力使用，通常每一單獨電力系統是相互連繫的，如圖 1-3 所示，爲三個發電廠相互連繫一起之簡易圖形，其優點爲當某一輸電線或發電廠發生故障時，所以由任何之故障之發電廠來供應電力，而達到最大機動性的使用。



§ 1-2 輸電及配電(單相及三相)

輸電及配電同是指電能的傳輸。不過輸電及配電的性質不同，爲了研究方便，往往分開來討論。原則上電能以輸送爲立，中途不接用戶者稱爲輸電。以分配電能與用戶爲立者稱爲配電。輸電之電壓高，距離長，導線多用鐵塔支持，相鄰兩鐵塔的距離（稱爲塔距）較大。配電之電壓低，距離短，導線均以電桿支持，相鄰兩電桿的距離（稱爲桿距）較小。兩者比較，其所研究的題目不盡相同。輸電注重於供電安全，配電着重於供電可靠和三相電路平衡等方面。

通常由發電廠至配電用變電所一連貫的系統稱輸電系統，而由配電用變電所至用戶一連貫的系統稱爲配電系統。輸電及配電電能傳輸之方式有二：

(1) 直流方式：

在電氣事業未發達前，電能體輸距離短，故採用直流方式。但因直流電壓無法任意昇降，逐漸淘汰而以交流方式取代之。當然交流方式傳輸亦有缺點，譬如交流含最大值和有效值，最大值是有效值的 $\sqrt{2}$ 倍，電力系統中的各項設備和裝置必須提高絕緣標準，同時交流功率因數通常在 1 以下，傳輸效率較差。又在穩定狀態下，能輸送電力受到限制。所以目前大電力用高壓直流輸送的方式，逐漸被觸目研究，並有恢復採用的趨勢。據言目前歐洲有用 200KV 直流輸送線的出現，此因直流電路無電感及電容作用，因而輸送效率較優的緣故。

(2) 交流方式，

交流輸送時，其電壓可以經過變壓器任意昇降，適合於大電力高電壓之輸送，現在世界各國多採用交流方式之傳輸。

交流依相別分成單相、兩相、三相。依裝設導線數分成單相二線式、單相三線式、二相三線式、二相四線式，三相三線式，三相四線

式等。在一定電壓電流和一定功率因數下，各種方式每一線能輸送的電力自有高低。表 1-1 列出各種方式的比較。顯然地三相三線式較其他任何方式，每一線輸送的電力來得大。所以輸電，絕大多數是採用三相三線式。但配電爲了配合用戶需要，其他方式也廣泛地採用。

表 1-1 電能輸送方式之比較

方 式		輸 送 總 電 力	每 線 輸 送 電 力		備 註
			輸 送 電 力	百分比 (直流 二線式爲 100)	
直 流 二 線 式		VI	VI /2	100	
交 流	單相二線式	VI cos ϕ	VI cos ϕ /2	100	
	單相三線式	VI cos ϕ	VI cos ϕ /3	66.6	中性線與其他導線同大
	二相三線式	$\sqrt{2}$ VI cos ϕ	$\sqrt{2}$ VI cos ϕ /3	94	中性線與其他導線同大
	二相四線式	2 VI cos ϕ	2 VI cos ϕ /4	100	
	三相三線式	$\sqrt{3}$ VI cos ϕ	$\sqrt{3}$ VI cos ϕ /3	115	
	三相四線式	$\sqrt{3}$ VI cos ϕ	$\sqrt{3}$ VI cos ϕ /4	87	中性線與其他導線同大

§ 1-3 輸電及配電電壓

通常電壓依高低分成下列五種：

- (1)低壓 (Low Voltage)：750 伏及以下的電壓。
- (2)高壓 (High Voltage)：超過 750 伏，但未超過 15 仟伏的電壓。
- (3)特高壓 (Special High Voltage)：超過 15 仟伏，但未超過 250 仟伏的電壓。
- (4)超高壓 (Extra High Voltage)：超過 250 仟伏，但未超過 500 仟伏的電壓。超高壓簡稱 EHV。

(5)極超高壓 (Ultra High Voltage) : 超過 500 仟伏以上的電壓。極超高壓簡稱UHV。

另外高電壓和低電壓兩個名詞，有時並非指上述分類之值的大小，而係指兩個以上電壓比較時用的。較高的電壓稱為高電壓，較低的電壓稱為低電壓，譬如 66KV 及 161KV 兩個電壓比較，161KV 稱為高電壓，而 66KV 稱為低電壓。因而此處所言之高電壓及低電壓是相對的，不可混淆。

輸電之輸送電力大，距離長，為了減少輸電損失及導體重量，均採用較高電壓。不過使用高電壓輸電，固然可以節省導線費用，但是電力系統中的各式元件，像變壓器、斷路器、輸電碍子、避雷器等費用，必然隨着電壓的升高而增加。所以輸電電壓的選擇，預先需要考慮各類成本的高低，輸送距離的長短，輸送功率的大小，來作決定。一般使用史提爾氏 (Still) 經驗公式估出之近似值，其輸電電壓為

$$\text{輸電電壓(KV)} = 7 \times \sqrt{\text{輸電距離(Km)} + \frac{\text{輸送電力(Kw)}}{500}}$$

另一方面國際電工技術委員會 (International Electro-technical Commission) 訂下了下列的標準電壓，便於各國參考採用。

標準電壓	(KV)	10	20	30	60	70	100	140	250	300
------	------	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

上列各值表示輸電線受電端全負載時的線電壓。送電端電壓可照上值增加百分之十的電壓降。輸電電壓的選定步驟是，(1)先使用史提爾氏公式估計大概數值。(2)這估計值和標準值比較，若是相符就以估計值作輸電電壓，如果估計值介在兩個標準值當中，就以較接近一級的標準值作輸電電壓。如果採用標準電壓，向國外採購器材時，可選購標準器材，可以節省很多費用，這是採用標準電壓的好處。

我國目前最高輸電電壓原為 161 仟伏，連接發電廠與一次變電所

，民國 63 年超電壓 345 仟伏輸電線加入運轉，使輸電系統更為有效。連接一次變電所與二次變電所之間之二次輸電線，其電壓已由 34.5 仟伏，提高至 69 仟伏。美國目前輸電電壓大多為 287 仟伏及 345 仟伏，但最近已完成了 765 仟伏的極高壓輸電系統。今後隨着電力系統的龐大，輸電電壓一直趨向上昇，相信五年後 1000 仟伏的極高壓輸電線將不難出現。

配電之輸送電力小，距離亦短，通常配電電壓用高電壓及低電壓兩種，茲述之如下：

(1) 高電壓配電線

(a) 三相三線式：3.3 仟伏，6.6 仟伏

(b) 三相四線式：3.3/5.7 仟伏，6.6/11.4 仟伏

(2) 低電壓配電線

(a) 單相兩線式：110 伏，220 伏

(b) 單相三線式：110 伏/220 伏

(c) 三相三線式：220 伏

(d) 三相四線式：110/220 伏，230/400 伏（50 赫）

254/440 伏（60 赫）

低壓線之電燈用與動力用的電壓比為 1：2，故普通多採用各別電路。而電燈與動力共用之三相四線式多採用的電壓為 110/220 伏，230/400 伏或 254/440 伏。

§ 1-4 頻 率

目前世界各國所採用之交流頻率有三種，即 25 赫，50 赫及 60 赫。我國目前採用 60 赫。美國亦為 60 赫。而日本採用兩種頻率，東京以北地區為 50 赫，東京以南地區為 60 赫。歐洲地區為 50 赫。

電力輸配所使用頻率高低，各有其優點，茲述之如下：