

633820

503

4486

科學圖書大庫

大學及五專電機系科電力組教材

電力工程與設備

編者 萬人欽

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

大學及五專電機系科電力組教材

電力工程與設備

編者 萬人欽

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年十一月九日初版

電力工程與設備

基本定價 6.80

編者 萬人欽 台灣電力公司工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號

發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

序 言

編者者係根據從事輸配電工程十餘年，與講授電機設計、電廠設備及電機測試之經驗，及參考國內外最近技術資料而編者。

筆者曾編輸配電學，係屬電力系統之規劃，設計及運用的協調，茲對系統設備的運轉與維護再編著此書，作為電力系統完整的介紹。鑒於電力系統的規模愈大運轉愈顯重要，特將設備的運轉說明、工作方法、點檢程序及機器的原理、機能、結構、特徵與保養維護等，有關技術與實用均有深入研討，務求最佳利用效果與可靠性。本書提供大專院校電力組實習教材及電力工程從業者參考。（本書且含有教育部頒佈五年制工專輸配電實習標準，及第一屆工業技能檢定試題作業）。

惟內容有疏漏之處，且此項技術發展神速，尚望先進隨時賜教。

萬人欽

中華民國六十七年一月三十一日

目 錄

序 言

第一章 電機的額定與運轉

- 第一節 電機的額定容量與損失…………… 1
- 第二節 電機運轉的維護與保護 8

第二章 電機絕緣的特性與檢驗

- 第一節 絕緣的特性…………… 12
- 第二節 衝擊電壓試驗…………… 16
- 第三節 非破壞性檢驗…………… 21

第三章 變壓器

- 第一節 變壓器的規格與特徵…………… 35
- 第二節 變壓器的機能…………… 45
- 第三節 變壓器的製作與組立…………… 61
- 第四節 配電變壓器應用…………… 70
- 第五節 變壓器運轉的維護…………… 79
- 第六節 變壓器的保護…………… 94
- 第七節 變壓器檢驗…………… 109

第四章 開關設備

- 第一節 開關的功能…………… 124
- 第二節 隔離設備…………… 135
- 第三節 熔絲鏈開關…………… 139
- 第四節 負載切斷器…………… 144
- 第五節 電力保險絲…………… 148
- 第六節 斷路器…………… 164
- 第七節 斷路器操作機構…………… 188
- 第八節 斷路器的額定與規格…………… 191
- 第九節 斷路器之維護…………… 196
- 第十節 斷路器試驗…………… 201

第五章 變電所

- 第一節 受配電設備…………… 213
- 第二節 匯流排…………… 218
- 第三節 配電變電所的配置…………… 229
- 第四節 受電變電所的配置…………… 246
- 第五節 受配電變電所之供電方式…………… 258
- 第六節 變電所工程…………… 267
- 第七節 電容器…………… 285
- 第八節 電抗器…………… 295
- 第九節 電力電纜…………… 299
- 第十節 儀器用變比器…………… 312

第六章 保護設備之協調

- 第一節 避雷器…………… 326
- 第二節 電力保險絲的協調
…………… 336
- 第三節 高壓斷路器之應用
…………… 346
- 第四節 開關箱…………… 352
- 第五節 低壓保護設備…………… 355
- 第六節 漏電斷路器…………… 368

第七章 線路保護

- 第一節 送電線保護之方式… 378
- 第二節 送電線保護之電路… 397
- 第三節 受電線保護之方式… 399
- 第四節 低壓線的保護…………… 401
- 第五節 線路常數測定…………… 403
- 第六節 潮流排的保護…………… 406

第八章 控制盤

- 第一節 配電盤的控制電路… 410
- 第二節 斷路器之操作電路… 418
- 第三節 配電盤結線…………… 422
- 第四節 三相三線式受電盤
結線…………… 442
- 第五節 三相四線式受電盤
結線…………… 454
- 第六節 動力控制盤…………… 459
- 第七節 控制開關及信號燈… 466
- 第八節 配電盤安裝…………… 471
- 第九節 屋內線路裝置…………… 475

第九章 保護電驛

- 第一節 電驛動作之方式…………… 479
- 第二節 電驛保護特性…………… 486
- 第三節 電驛之型式與規格…………… 500
- 第四節 電驛試驗…………… 524
- 第五節 保護電驛校正之方法
…………… 543

第十章 電儀表

- 第一節 指示儀表…………… 554
- 第二節 積算儀表…………… 571
- 第三節 紀錄儀表…………… 580
- 第四節 電表檢驗…………… 583

第十一章 電動機

- 第一節 電動機的性能…………… 601
- 第二節 直流電動機運轉特性… 603
- 第四節 交流電動機運轉與維護
…………… 607
- 第四節 電動機的保護…………… 614
- 第五節 感應電動機試驗…………… 635

第十二章 電動機的控制

- 第一節 感應電動機的起動控制
…………… 666
- 第二節 馬達的速度控制…………… 704
- 第三節 馬達的制動控制…………… 714
- 第四節 電動機的正逆方向控制
…………… 719

第十三章 無熔絲開關與電磁開關

- 第一節 無熔絲開關…………… 730
- 第二節 低壓電磁開關…………… 757

IV

第三節 高壓電磁開關.....766

第十四章 發電機的維護

第一節 交流發電機.....780

第二節 直流發電機.....782

第三節 發電機的保護.....785

第一章 電機的額定與運轉

第一節 電機的額定容量與損失

一、電機額定容量與溫升

電機的運轉要求在於使用的電壓、輸出功率及規格內所定的效率，電壓調整率（對發電機變壓器）與轉速調整率，最大轉矩、開動轉矩（對電動機）等。且須考慮使用因數，通常為 1.15，即過載 15%，而不致過溫升或故障。

在使用限度內輸出功率為額定輸出，則額定輸出的電壓、電流、轉速應為額定電壓，額定電流或滿載電流、及額定轉速。另一類定額分為連續使用，其時間較溫升達飽和的時間長；短時間使用，其時間未達溫升飽和即停止使用；及反覆使用，為在短時間使用停止後再於未恢復室溫前同一負載又使用。而短時間負載的時間分為 5、10、15、30、60、120 分鐘六種；反覆定額如無特別規定，其使用及不使用時間總合的一週期時間之標準值為 10 分鐘，以使用時間對一週期總合時間的比為負載時間率，負載時間率的標準可分 15、25、40 及 60% 四種。

電力機器之額定容量及其感應電勢（電動機以額定輸出的輸入電力），如下表之關係式：

電 機	感應電勢 (v)	額定容量 (KvA 或 kw)
直 流 機	$2 Z/a \phi f$	$2 (Z I_a) \phi f \times 10^{-8}$
交 流 機	$2.1 Z \phi f$	$2.1 (m Z I) \phi f \times 10^{-8}$
變 壓 器	$4.44 n \phi f$	$4.44 (m n I) \phi f \times 10^{-8}$

表中： Z ：電機轉子或固定子之總導線數（直流機），或為每相之導線數（交流機）。

a ：並聯電路數（直流機）

n ：卷數

m ：相數

I_a ：每並聯電路之電流， A

I ：每相之電流， A

ϕ ：每極之有效磁通數（變壓器指主磁通之最大值）， Wb

f ：週率數， c/s

由於電機各極或各脚（變壓器）之構造對稱，則各極及各脚之安培匝數以 A_e, A_i 表示，其電機之額定容量式：

$$\text{迴轉機：} KVA = K_o PA_e \phi f \times 10^{-3}$$

$$\text{變壓器：} KVA = K_o PA_i \phi f \times 10^{-3}$$

式中： A_e, A_i 為電氣負載

ϕ 為磁氣負載

K_o 為常數（直流機為 2，交流機為 2.1，變壓器為 4.44）

PA_e （迴轉機）， PA_i （變壓器）為安培匝數

設 $S = KVA/P$ ，並設 A_e 之單位為 10^3 安培匝，則

$$\frac{S}{f} = K_o A_e \phi$$

S/f 一般稱為比容量，係與電氣負載及磁氣負載之乘積成比例，即同一比容量而不管電氣負載及磁氣負載的分配均無關，僅就分配之方法能直接影響於機器的效率、功率、溫升、及其他特性。換言之，電氣負載與磁氣負載之分配問題為電機的機能關鍵。

電機由於負載電流經過線圈導體的銅損，及鐵心的磁滯、渦流等鐵損所引起之熱。在正常情況下熱量大部份均產生在有效材料銅及鐵內，只有大型電機會有相當大的損失產生在機件（如端夾板、軸承蓋及繞組支撐環）內。

物體上任何部分產生熱量，該部分的溫度會升高，設物體內部熱量的均衡度愈小，及其向四周散熱的能力愈小，則其溫升愈高，故電機所用材料不僅要好的熱導係數，且要讓繞組及鐵向四周有優良散熱能力。電機的熱分輻射及對流，對流熱為流動的空氣所帶走（直接傳導於機殼上及軸承散出之熱

量甚微)而機殼可將一部分熱量輻射散出去。

電機額定運轉的溫升，以溫度上升達飽和時的溫度為 $t_m^{\circ}\text{C}$ ，且離機一公尺周圍的空氣溫度平均值為 $t_a^{\circ}\text{C}$ ，則 $t_m - t_a$ 為此電機的溫升。國際標準周圍溫度為 40°C 。則設計電機採用的材料可容最高溫度，與標準周溫的差即為其容許溫升，由此溫升以決定電機的總功率損失，亦即負載額定容量。電機的溫升飽和後，在接近發熱部位，尤其被包在絕緣物裏面的部分溫度較高。電機中最高溫度點的溫度稱之熱點溫度，通常使用在容許過載範圍內時，電機的熱點溫度要比所用絕緣材料的可容最高溫為低。

電機的熱點溫度發生於通電的導體與絕緣物間而難以測定，如用埋入熱電偶或電阻線法，則只能靠近熱點的絕緣物外邊，若用電阻法測定導線的電阻變化，由電阻變化與溫度有關，計算導線的溫度，則所得之結果亦僅為導線的平均溫度亦非熱點；若用普通溫度計或各種熱電偶半導體的溫度計法測定，雖可量到最高溫度部位的表面，但與熱點溫度仍差很大，由實驗研究結果，若用埋入熱電偶法或電阻法，其測得之結果再加上 $5 \sim 15^{\circ}\text{C}$ ，即可作為熱點溫度，至於溫度計法，則再加上 $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 即可。CNS(中國國家標準)及 JEC(日本電氣規格調查會標準)所定的電機最高升值，由此原則所訂定如下表：

絕緣種類	最高容許溫度	溫度計法($^{\circ}\text{C}$)		電阻法($^{\circ}\text{C}$)	
		非全閉型	全閉型	非全閉型	全閉型
A	105°C	50	55	60	60
E	120°C	65	70	75	75
B	130°C	70	75	80	80
F	155°C	85	90	100	100
H	180°C	105	110	125	125

表中缺少 Y 級絕緣。係因電機未用此絕緣，而 C 級絕緣缺少，乃因此絕緣材料可容最高溫度的無限制。由表得高溫時用溫度計法測溫，其校正溫度高達 35°C 。

二、電機損失與磁氣材料

1. 電機損失：

電機的損失可分有固定損失；鐵損、轉動摩擦損、風損及負載損失；銅損、激磁電路之電阻損、電刷電阻損，尚有其他漂遊負載損失；包括在導體中及鐵中。設磁通、頻率、及速率不變，則鐵損、機械損與激磁損約略與負載無關，而為恒定損失。

其鐵損失可分述為：

(1) 磁滯損：

(一) 鐵心中之交變迴磁的磁滯損：

$$W_H = \varepsilon \frac{f}{100} B_a^2, \quad W/kg$$

式中 B_a ：平均磁通密度， W_b/m^2

ε ：材料常數

(二) 電機軛鐵內之旋轉迴磁的磁滯損失：係因磁通密度增加而增加，但當達到某一最大值之後反而急速減少。如圖所示。

旋轉迴磁最大值依材料的種類而不同，通常約在 $1.2 \sim 2.0 W_b/m^2$ 之磁通密度。

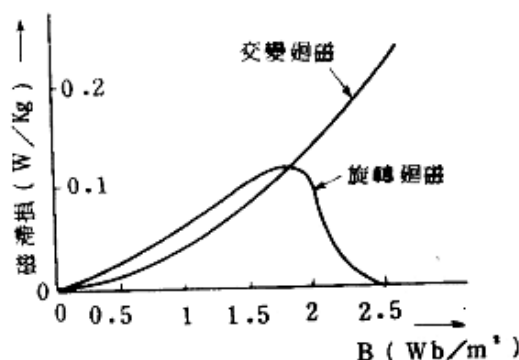


圖 1-1 磁滯損與磁通密度之曲線

(2) 渦流損：

鐵心中之交變迴磁的渦流損：

$$W_E = \sigma \left(\frac{f}{100} B_a \right)^2, \quad W/kg$$

式中 B_0 ：鐵片斷面中之平均磁通密度， W/m^2

σ ：材料常數，與鐵之電導係數有關，而隨鐵之分子與化學性質而變化，如表值所示。

鐵片種類	厚度 (mm)	ϵ	σ
普通	1.0	4.4	22.4
	0.5	4.4	5.6
	0.35	4.7	3.2
高級	0.5	3.0	1.2
	0.35	0.4	0.6

一般電機之鐵損總比上列計算值為大，係因工作時的機械應力所增加的磁滯損，及壓積時損壞各層絕緣的渦流損。

2、磁性材料

迴轉機鐵心須高磁流密度，高占積率及易加工等特性，以 D 、 B 級的鐵耗於 $50 \sim 10,000$ 高斯約為 $1.5 \sim 3.0 W/kg$ ，近來因製鋼技術進步，以冷壓延之無方向矽鋼片，其鐵耗約在 $1.2 W/kg$ 。

磁性材料之鐵損可分為如圖與表所示。

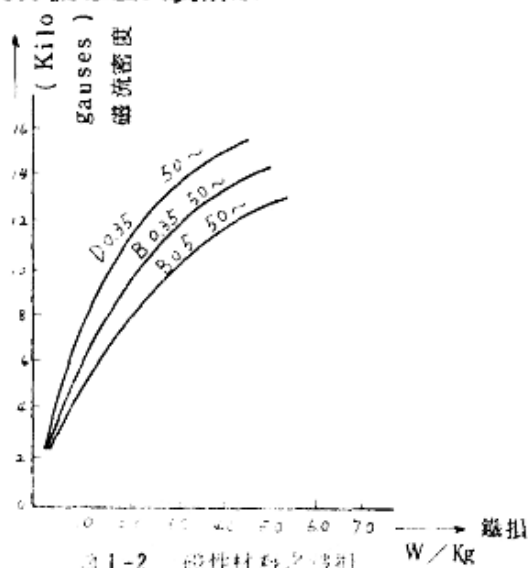


圖 1-2 磁性材料之鐵損

種 類	鐵 損	適 用 電 機
B級	1.2%	小型迴轉機
C級, D級	3%	大型迴轉機
T級	4.3%	變壓器用

磁氣材料先以鋼線再改為薄鐵板之炭素鋼，其鐵損大且易老化，1903年採用矽鋼片的性能優越，其無負載損失與無負載電流減至最少，且使電壓調整率得以改善，亦能增加超載容量。矽鋼片表面因有一層氧化皮膜，而使電阻高可減少渦流損失，但在高磁通密度時，亦有磁滯損失，故應儘量減薄氧化皮膜的厚度，或以酸洗除去皮膜並塗上絕緣塗料。矽鋼之含矽量多鐵損會較少，但伸度減低而脆，須添加少量鎳，而增加韌性，在實用上矽量以4%為限度。矽鋼片之主要特性為：

- (1)磁通量容易獲得，未達飽和部分之導磁率高。
- (2)保磁力小，則磁滯損失小。
- (3)固有電阻高，渦流損失小。
- (4)矽鋼的電氣特性如下曲線：

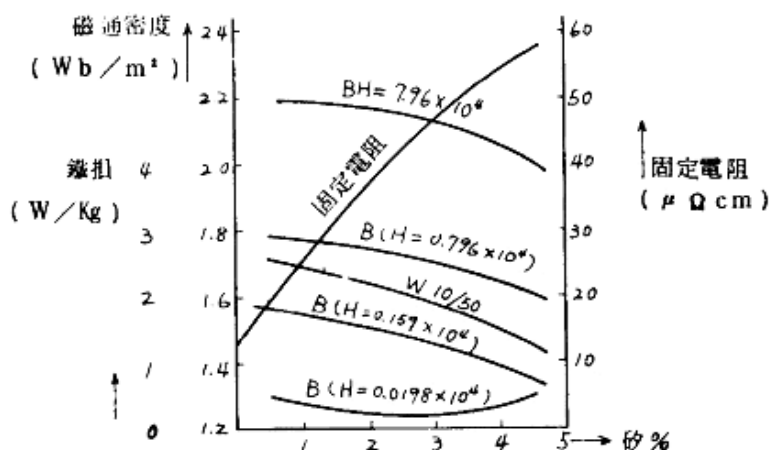


圖 1-3 矽鋼之電氣特性

(5)矽鋼的機械特性如下曲線所示：

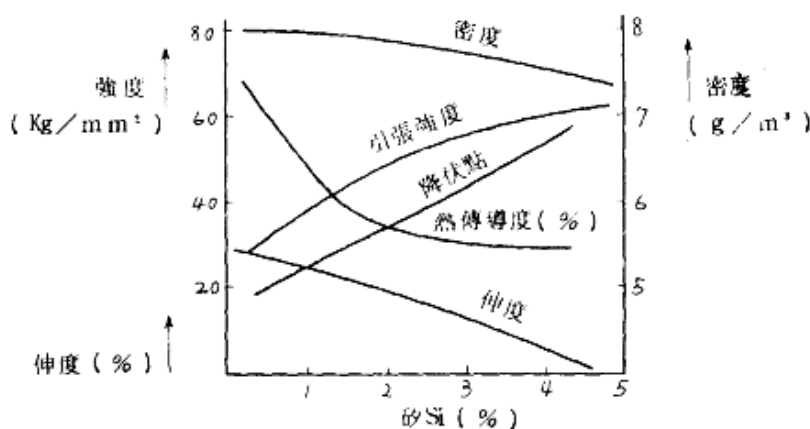


圖 1-4 矽鋼之機械特性

1950年將熱壓延矽鋼片改良為方向性冷壓延矽鋼片，其優點為：

- (1)鐵損相同而有較高之導磁率。
- (2)冷向壓使形狀良好且表面平滑，故占積率良好。
- (3)加工容易適於高速高效率之連續沖壓作業。
- (4)體積小重量輕使安裝搬運方便，同時繞線平均長度減少，而使銅損減低效率提高。
- (5)鐵損減少一半，激磁電流可減少數分之一。

3. 電機的絕緣材料

迴轉機的線圈導體之包皮、槽內絕緣、槽楔、凡立水等材料能耐高溫運轉則可縮小電機尺寸，絕緣材料最為顯著。如可耐 300°C 高溫，絕緣耐力 60kv/mm ，電阻係數 $10^{16}\ \Omega\text{mm}$ ，及 $\tan\delta = \alpha \times 10^{-4}$ 。其主要絕緣材料分為：

(1)玻璃纖維

玻璃纖維富有不燃性、耐熱性、非吸濕性、電氣絕緣性、機能強度大，且能耐酸或油等特長，故使用此種材料為優良之耐熱性絕緣物，可用於H種材料。

(2)矽聚合物

普通矽具有耐熱性，於真空中耐 550°C ，空氣中耐 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，

且有耐濕耐水性，故凡立水皮膜強韌，可撓性、接着性及耐油性等特長。此材料接着之雲母片玻璃皮等物可使用於H種。

(3)聚氯乙烯

氯氯乙烯合成之P.V.F. 漆包線，其皮膜強韌、耐老化性、耐熱性、耐化學藥品性等，而改善占積率。其他尚有聚乙烯（P.E.）、Epoxy resin等成品亦用於電機絕緣。將絕緣種類與材料如下表：

絕緣材料 或部位 \ 種類	A	E	B	H
繞 組	P.V.F. 線 D.C.C. 線	P.E. 線	P、E線 B種矽質雙玻 璃包線	H種矽質雙玻 璃包線
相間及槽	臘布	萬力膜 (mylar)	雲母 玻璃臘布	雲母 矽質玻璃臘布
凡立水	油性	油性 合成樹脂	P.E. Epoxy	矽質
帶	紗尼龍	Teflon	玻璃纖維	玻璃纖維
槽 楔	竹、木 纖維板	電木板 P.E. 積層板	P.E. 積層板 Epoxy積層 板	矽質積層板

第二節 電機運轉的維護與保護

一、運轉的維護

電力設備於系統中所需之高壓、中壓、及低壓電源的運轉，且須將各項

設備的耐壓與絕緣處置適當及裝設位置作合宜佈置，並應注意便於保養與維護，對系統的重要性不亞於性能良好的設備。

電機的效率應依照標準的設計，因效率低而表示該電機所需電功率較多，故高效率的電機各種損失較少。則電機選購時應考慮事項為：電機所用能源的費用，電機的投資利息和折舊及電機的各種維護費等，須使其達到最低年費。

現在電力設備必須經常加以維護，以保持其運轉性能。不應坐視設備耗損後再予修理恢復。因此，建設與維護實為現代電力的一對孿生兄弟。建設或投資固然要經濟比較，但維護工作也須要，由於維護的方法、維護週期，均靠人工與物力。如維護得太少了。而冒着設備損壞的危險，但維護太多耗費人工物力，且機器可能遭受到不必要的損耗，而得不償失。

機器的維護是工程問題。應從研究機器的特性，使用的情況，與整個系統的關係，而檢修維護最恰切的時間，使其影響運轉最小，則維護工作應所需最經濟人力與物力及檢修維護的最佳方法等。

電機設備之維護要注意其通電部分，對油類、油膏類及塵埃都應有適當之保護。因這些物質對線圈及絕緣均有破壞力。茲將維護工作之要點分述如下：

1. 塵埃對所有電機都不利，因其阻塞通風而產生更高的熱。絕緣材料之壽命因溫度升高而縮短其使用年限。則熱是電機的共同敵人，故須保持機器的清潔，並保持良好的通風。
2. 旋轉電機需要潤滑，潤滑應使用適當的潤滑油，並應定期加油。由潤滑之處常會碰損，故常需檢查軸承及定轉部間之間隙，使其保持正常。
3. 電機的絕緣電阻會隨使用年限減低，應時常檢查絕緣電阻可預防事故。由電機之絕緣突降，則事故將會發生。應作詳細檢查，而避免事故。
4. 保護裝置需要作例行檢查及校正，才會在必要時發揮其保護作用，以便系統之未生事故部分能繼續正常運轉。
5. 修理及調整工作應特別注意，時間若拖延過久，往往會造成不堪收拾的局面。
6. 設備保養紀錄應詳細，而有助於機器的運轉。

二、運轉的保護

電力系統主要係由發電機、變壓器、匯流排及輸電線路等結構而成，機

器設備因內部絕緣損壞、雷擊或開關突波、及外部物體接觸所引起的故障，均將使設備受損而影響供電。設計電力系統各部分欲能完全避免各種可能存在之缺點與外部之紛擾，即不實用亦不經濟，故須裝設保護電驛將故障部分隔離，俾系統健全部分繼續供電。保護電驛之任務在於測出故障種類及地點，並迅速將其切離系統，藉以縮小停電範圍、維護系統穩定運轉，並減少設備之損壞。系統發生故障的異常狀態為：

- (1) 系統故障的各項設備之一相或一相以上之電流將突然增加。
- (2) 系統故障的各項設備之一相或一相以上之電壓必將降低。
- (3) 故障設備之溫度將會迅速升高。
- (4) 故障形成功率反向，不平衡相，反相序以及反極性現象。

電驛乃利用電力系統各種特有之現象，而決定故障之所在，將訊號傳至適當斷路器而跳脫，則故障地區自系統中隔離，以便檢修並清除故障。此外並規定電力系統各構造成份之絕緣標準，以配適當避雷裝置，儘量減少機器設備之雷害，以改變對用戶之服務及減少故障設備受損之程度。保護電驛系統為達成其任務，線路或設備須分別設置斷路器，以隔離故障，且保護有效範圍逐段免留空隙，如下圖所示：

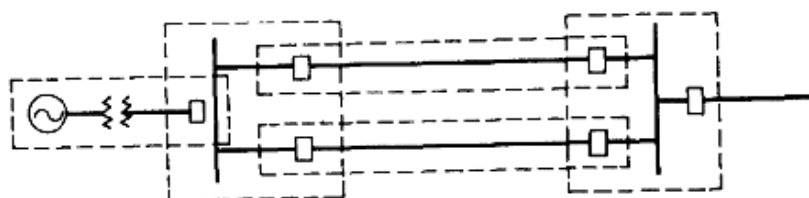


圖 1-5 系統之保護範圍

本位保護電驛比流器設置電源測，而將斷路器納入保護範圍，則一處事故可能引起數處切斷，但較無保護為妥，如斷路器本身故障，須將最近之斷路器跳脫而清除。

本位電驛可能受電源中斷，斷路器機構，或其跳脫線卷及電驛本身故障而失保護功能，應設置後備保護。後備電驛應使本位電驛有充分清除故障時間，須延遲動作，時間約等於其鄰近電驛與斷路器合併之動作時間，再加適當間隙。

後備保護方式設在本位電驛同一地點，可採用不同型式的電驛，例變壓器以差接電驛為本位保護，而另藉電弧所生氣體而動作的布氏電驛 (Buchholz) 為後備保護，亦有應用兩套比流器兩套電驛及兩套跳脫線卷，此僅在