

# 談電力電容器組保護

李河樟

台電電力調度處

## 一、前言

在電力系統中因為有大量的電感性負載，消耗了系統中賴以維持電壓的無效電力，造成負載中心電壓偏低現象，嚴重影響電力品質，甚至危及系統運轉安全。為改善此一無效電力不足的現象，必須在電力系統中適當地點裝設並聯式電容器組（SC；Shunt Capacitor Bank），以補充系統所需之無效電力，維持正常電壓品質。在電力長途輸送的情況下，為提昇系統穩定度，有些時候也需要在輸電線路上串接電力電容器組。另外，在一些高壓用電場所，為提高功率因數或是抑制諧波對電力系統的污染，也都裝設為數不少的電力電容器組。

電力電容器組與其他電力設備一樣，必須有妥適的保護裝置，以保護電容器組及其相關設備。要了解電容器組保護電驛之應用，首先必須知道該電容器組之容量、其連結方式以及個別電容器單元之構造等，更必須充分了解電容器組在運用上的一些限制。

## 二、電容器組運用限制

為確保用電場所的安全，依據 IEEE 18-1980 標準，在並聯電容器組的運轉上有一些規定，其中對於保護電驛應用有關的重要事項為：

1. 電容器組在下列的條件下，可連續正常運轉：(1) 包含諧波成分在內，連續

運轉電壓可達其額定電壓的 110%；(2) 包含諧波成分在內，連續運轉電流可達其額定電流的 135%。

2. 在額定電壓及頻率下，電容器組必須能夠提供不少於 100%，且不多於 115% 的額定無效電力。以上這些電容器的運轉限制，在保護電驛應用上必須特別加以考慮，尤其是必須要考慮諧波成分的存在。

### 三、電容器單元之構造

影響電容器組保護電驛應用方式的還包括電容器的結構，不同的構造其保護方式會有些許的不同。一般爲了滿足電容器組的額定電壓及無效電力容量，高壓電容器組是利用電容器單元 (unit) 的串、並聯組成。每一電容器單元其實是由許多只電容器元件 (element) 組成，電容器單元的保護方式，原則上是由其個別的熔絲保護。此熔絲有些是裝置於電容器單元與熔絲匯流排之間，有些則是裝設於其內部的每一只電容器元件上，稱爲內部熔絲鏈。圖一爲採用外部熔絲的傳統式電容器單元所組成的典型電容器組；圖二爲採用內部熔絲型電容器單元所組成的典型電容器組。並聯電容器組如使用內部熔絲型電容器單元，在並連接線中所用的電容器單元較少，但串聯的級數會較多。在內部熔絲型電容器中，當某一只電容器故障時，流經其熔

絲鏈的電流會比正常電流大，此一大電流將會使其熔絲鏈熔斷，因而將故障的元件隔離。

### 四、電容器組之構成

當電容器單元的額定電壓採用可能的最高值時，則此電容器組的串聯級數爲最少，使得其排列與組成最爲簡單，同時在偵測其不平衡的異常狀況也最爲靈敏。反之，串聯級數越多，則失去一串聯電容器單元所造成的不平衡現象會越不明顯，保護設備動作就越困難。另外，在每一串聯組裡面電容器單元的多寡也有一些限制，最少的數量是考慮由串聯組裡面隔離一個電容器單元時，必須不會造成電壓不平衡，而使得在此串聯組內的其他電容器單元會有 110% 以上的額定電壓出現；每一串聯組裡面電容器單元最多數量的考慮是，當某一電容器單元故障時，在此串聯組裡面的其他電容器，將會包含一部分的充電電流，此一高頻的暫態電流會流經故障的電容器和他的熔絲鏈，其熔絲座及電容器單元，必須能承受此一暫態放電電流。因此每一串聯組所能並聯的最大容量不能超出 4650kVAR (全板式電容器單元) 或 3100kVAR (舊型電容器單元)。表一爲在隔離一個電容器單元之後，其他健全單元上的電壓限制在 110% 以內時，建議每一串聯組中其並聯單元最低數目。

表一：每一串聯組中並聯單元最低數目

串聯組 數目	接地 Y 或 $\Delta$	非接地 Y	雙 Y
1	-	4	2
2	6	8	7
3	8	9	8
4	9	10	9
5	9	10	10
6	10	10	10
7	10	10	10
8	10	11	10
9	10	11	10
10	10	11	11
11	10	11	11
12 及以上	11	11	11

## 五、電容器組之接線

三相電容器組的接線方式最常用的有五種：1.  $\Delta$ 接，2. 接地Y接，3. 不接地Y接，4. 接地雙Y接，5. 不接地雙Y接，其接線如圖三所示。每一種接線方式各有利弊，應配合電力系統電壓、電容器容量、故障電流等因素選擇適當接線方式。

### 1. $\Delta$ 接線

$\Delta$ 接線的電容器組通常僅使用於配電電壓等級，使用最多的場合為 2400 伏特電壓系統，其接線只有一個電容器單元，額定電壓為線對線電壓。

優點：

- 電容器組內一只電容器單元故障時，故障電流較大，保護最為靈敏。
- 零序及三次諧波無迴路。
- 電容器組啓斷時回復電壓不嚴重。
- 當隔離掉一個故障電容器單元時，其餘正常的電容器單元不會有過電壓現象，不需要不平衡電驛保護。

缺點：

- 故障電流較大，通常要用到電流限制型熔絲（較為昂貴）。
- 電容器的絕緣等級為線電壓。

### 2. Y 接地

接線方式如圖三之 b 所示，其優、缺點分述如下：

優點：

- 電容器組內電容器單元故障時，故障電流較大，保護更為靈敏。
- 開關設備起斷時回復電壓不嚴重。
- 暫態突波及雷擊之接地迴路阻抗小，對突波電壓提供了一些保護。

缺點：

- a. 電容器組容量太大時（每一串聯組超過 4650kvar）故障電流較大，通常要用到電流限制型熔絲。
- b. 中性點接地，有高次諧波電流通過，會干擾通訊系統。
- c. 保護電驛應用對於接地電驛必須注意湧入電流的效應。

### 3. 不接地 Y 接

接線方式如圖三之 c 所示，其優、缺點分述如下：

優點：

- a. 高次諧波電流無低阻抗迴路流通，不會干擾通訊系統。
- b. 一相電容器故障時，其最大故障電流受其餘兩正常相之電容器阻抗值限制，最大為正常電流值的三倍。
- c. 暫態突波及雷擊之接地迴路阻抗小，對突波電壓提供了一些保護。

缺點：

- a. 電容器組未接地絕緣等級必須考慮線間電壓（而非線對地電壓）。
- b. 因故障電流受到限制，保護設備選用必須謹慎，否則達不到保護之目的。
- c. 電容器開啓時會有較高的回復電壓。
- d. 電源側如為一相或兩相開啓，電流可經電容器反饋，供電給電源側已開路的

各相負載，而發生高壓甚至相位反轉等異常現象。

- e. 電容器組三相負載不平衡時，會產生中性點電位移。

## 六、電容器組之保護

爲了確保電容器組運轉安全，必須要有適當、可靠的保護，萬一電容器組發生故障，保護設備必須能快速將電容器組隔離，使其所受到的損害降到最低。當一個電容器單元故障時，此電容器單元必須在不影響到鄰近其他正常單元的情況下被隔離。電容器組保護系統必須考慮下列基本狀況：

1. 由於電容器組匯流排故障而造成的過電壓現象。
2. 系統的突波電壓。
3. 個別電容器單元故障所造成的過電流現象。
4. 電容器單元持續過電壓現象。
5. 從並聯電容器元件過來的放電電流。
6. 由於開關投入所導致的突入（湧入）電流。
7. 電容器架產生的電弧（Arc-over）。

茲以表一說明各種保護方式及預防方法。

### (一) 電容器單元之熔絲

電容器組的第一線保護就是個別電容器單元的熔絲，一個正確、良好的熔絲動

作，可以使得其他電容器單元產生連鎖故障的機會降至最低。而電容器單元熔絲要正確動作，主要是靠電容器組的正確結構。

電容器單元熔絲的基本要求為：

- 1.能夠承受電容器單元最大持續電流，允許電容器單元在容忍度內承受系統過電壓及諧波電流。
- 2.能夠承受外部暫態湧入電流，包括鄰近電容器組開關投入或鄰近的一個電容器單元故障。
- 3.能夠快速的在一個電容器單元故障擴散時熔斷，及在所有的電容器單元完全短路時動作。

根據多年的運轉經驗，如果適當限制同一串聯電容器組內電容器單元的並聯數目，則排除型熔絲可以提供良好的電容器組保護。

根據 IEC 標準，熔絲的額定電流最少必須為電容器額定電流 1.43 倍，為了避免

熔絲誤動作，通常定為 1.5 倍。因此採用外置熔絲保護時，在第一個電容器單元短路時，熔絲不會動作；第二個電容器單元短路時，熔絲也不會很快速動作。電容器單元內部因故障而產生之電弧可持續存在數小時，因燃燒氣體而導致內部過壓，電容器單元可能在熔絲熔斷之前爆裂。

內置熔絲電容器單元，在電容器元件被擊穿時，與之並聯的其他電容器元件釋放能量，使熔絲快速斷開。熔絲熔斷的時間大約是幾微秒，完全熔斷約需 50-200 焦耳的能量。由於熔斷熔絲不需要太多的能量，故不會在電容器單元內形成斷續的電弧或產生任何氣體。因此，一內置熔絲電容器單元如其中有一元件故障，不會影響其他與之並聯的電容器元件正常運轉。表二是內置熔絲與外置熔絲電容器單元之比較。

表一、並聯電容器組保護方式一覽表

狀 況	保護方式與預防方法	備 註
匯流排故障	1.電力熔絲 2.斷路器及過電流電驛	使用一般傳統的保護方式
系統突波電壓	突波避雷器	將電容器組接地可以減輕部分的突波電壓，檢查避雷器額定電壓。
個別電容器元件造成的過電流	個別電容器元件的熔絲（電流限制型或排除型）	時間協調由電容器製造廠提供。

狀況	保護方式與預防方法	備註
電容器元件連續過電壓	1. Y 接或雙 Y 接方式電容器組，以不平衡電流或電壓電驛保護。 2. 定期巡視熔絲鏈。 3. 使用相間電壓電驛。	1. 視電容器組的的連結方式及額定，有各種不同的保護方式及其限制。 2. 不適用於無人變電所。 3. 適用於系統過電壓保護。
從並聯電容器元件過來的放電電流	1. 個別電容器元件的電流限制型熔絲。 2. 電容器組適當設計。	1. 時間協調由電容器製造廠提供。 2. 限制並聯電容器元件的數量。
湧入電流	串聯阻抗於電容器組。	減低湧入電流，如果是單一電容器組也許不必要。
電容器組架故障	1. 不平衡電驛。 2. 過電流電驛。	適當的保護電驛動作以限制故障損害程度。

表二、內置熔絲與外置熔絲優缺點比較表

	內置熔絲	外置熔絲
熔絲熔斷時所損失的無效電力	低 (約 2%)	高
熔絲誤動作的可能性	低	高
電容器單元外殼裂開的可能性	低	高
熔絲動作引起運轉中斷的可能性	低	高
不平衡保護的困難度	低	高
備用電容器需求量	低	較高
操作和維修費用	低	較高

## (二)過電流電驛保護

對於電容器組的線對線故障或是線對地故障，通常除了熔絲保護之外，尚需要外部保護設備，如電力熔絲、斷路器或是保護電驛結合開關設備等，如圖四所示。

對於 Y 接地電容器組，通常只需要針對高電流量的故障偵測之後衛保護即可。但是對於一個不接地 Y 的電容器組，當發生線對中性點的故障，將會導致線電流的上升，其故障電流僅為正常電流值的三倍。電容器組的後衛保護必須能夠允許流過 135% 的額定電流，但又必須能夠在三倍額定電流值時動作隔離故障電容器組，如用電力熔絲的話，實際上很難完成此一任務。使用保護電驛並適當設定始動電流，即可達到應有保護。

電容器組故障可能是對於框架的閃絡，為了對於此類故障過電流電驛能快速、正確動作，如果每一框架僅包含一相，則可利用下列公式估算出故障電流，據以設定過電流電驛。

$$\text{單 Y 接地：} I_f = \frac{S}{S-F} I$$

$$\text{單 Y 不接地：} I_f = \frac{1.5S}{1.5S-F} I$$

$$\text{雙 Y 不接地：} I_f = \frac{6S}{6S-5F} I$$

$I_f$ ：故障電流

$I$ ：正常相電流

$S$ ：每相串聯組的數目

$F$ ：電容器閃絡的串聯組數目

在單 Y 接地電容器組，如果  $F=S$  的時候，故障電流為系統的相對地故障電流。在單 Y 不接地電容器組  $S=3$ ，對於初始電容器的閃絡 ( $F=1$ )，其故障電流為正常電流的 1.285 倍，而電驛一般設定為正常電流的 1.35 倍，故對於此一初始故障，電驛並不會動作。在單 Y 接地電容器組，如果串聯組只有三層  $S=3$ ，則對於初始電容器的閃絡，其故障電流為正常電流的 1.5 倍，也就是電驛始動電流設定值的 1.11 倍，這對於電驛動作的可靠度顯然不足。對於一個串聯組電容器單元的電弧放電保護，不平衡電驛是最有效的保護方式。

## (三)電容器過電壓保護電驛

電容器組的過電壓保護設施，包括突波避雷器等，可以縮短雷擊或開關的暫態過電壓。另外電容器組通常也可以吸收過電壓，因為在電壓逐步升高時，此電容器組依其特性會暫時的短路，這現象可以使環繞於電容器組的過電壓大幅度的降低，但這卻還是不能夠做到完全的保護。

出現在電容器組過電壓的程度，是依據並聯的電容器組與產生暫態過電壓點之間的電線長度和突波的時間週期有關。電容器組也可能由於系統異常的運轉狀態而造成過電壓，假如此過電壓大到足以損害電容器組時，則必須考慮使用過電壓電驛保護了，如圖五所示。表三列舉一些短時間過電壓的限制條件，做為過電壓電驛設

定時的參考。

表三、短時間過電壓限制

時間	額定電壓的倍數 (rms)
0.5 cycle	3.0
1.0 cycle	2.7
6.0 cycle	2.2
15.0 cycle	2.0
1.0 秒	1.7
15.0 秒	1.4
1.0 分	1.3
30.0 分	1.25

注意：本表所列電壓基本波電壓限制值是在溫度零度以下為基準。

#### (四) 不平衡電驛保護

不平衡電驛保護必須考慮的條件：

1. 不平衡電驛必須跟個別的電容器單元熔絲協調。熔絲必須在電容器組不平衡電驛動作之前先將故障的電容器單元隔離。
2. 如果可能的話，此不平衡電驛必須靈敏到足以針對一個串聯組內的一個電容器單元故障就能夠發出警報。當電容器單元損失到足以讓一個串聯組遭受到超過 110% 額定電壓時，不平衡電驛必須動作跳脫。
3. 不平衡電驛的時間延遲必須足夠短，以降低電容器組結構內的電弧故障產生之損

害，且防止其他電容器單元處於超過限制的過電壓狀態。

4. 不平衡電驛的時間延遲必須能夠避免由於湧入電流、鄰近的接地故障、雷擊或開關突波等造成的誤動作。在一般運用上，0.5 秒是一適當的選擇。
5. 不平衡電驛必須考慮系統原有的不平衡效應。
6. 在一個內置熔絲型的電容器組裡面，不平衡電驛是針對故障電容器元件的總數目做一指示，故障元件的實際數字是由電驛的設定值來決定。

#### (五) 接地 Y 電容器組中性點電流不平衡保護方式

接地 Y 是 69kV 以上電壓等級電力電容器組最常使用的一種接線方式，當電容器組當中有異常現象導致不平電流出現時，此不平電流會流入中性點，利用中性線上的比流器，可以偵測出此一不平衡現象。此電流量是因個別電容器異常而引起，其值可由下列式子算出：

$$I_N = \Delta I_\phi = I_\phi \cdot \frac{F_1}{S(P - F_1) + F_1}$$

$$I_\phi = \frac{VAR}{3V_{LG}} = \frac{V_{LG} \cdot P}{X_C \cdot S} = \frac{V_{LG} \cdot I_C \cdot P}{V_C \cdot S}$$

$I_N$  = 中性點電流

$I_\phi$  = 正常時相電流

$\Delta I_\phi$  = 相電流變化量

$S = V_{LG} / V_C$  = 串聯組數量

$V_{LG}$  = 線對地電壓



$V_c$ =電容器額定電壓

$P$ =每一串聯組內並聯單元的數量

$F_1$ =一相內同一串聯組故障的電容器數量

$X_c$ =電容器阻抗

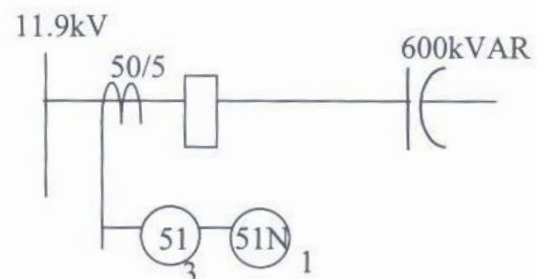
## 七、結論

電容器的使用場合很廣，在各種不同條件下其運用方式也不一，並聯電容器組在改善功率因數及提昇負載端電壓有著顯著的效果，在使用上也就較為普遍，對於並聯電容器組的保護討論的也比較多。我們也可以從中發現，透過電容器組的不同設計，可以影響保護方式的運作。因此，探討電容器組的保護必須從其設計開始。這就如同電力系統保護電驛一樣，在系統規劃之初就必須可慮到如何保護，系統在什麼階段在什麼地點需要那些特殊的保護裝置，都必須有周詳的規劃。如果在系統已經造成某種既成的惡劣運轉情況，此時再來尋求保護電驛做一些補救，那就事倍功半為時已晚了。

通常並聯式電容器組的設計條件，必須隨著系統電壓最小的電容器尺寸而提昇，比較高電壓的電容器組其投資成本之風險較高，因而廠家已從提高電容器單元額定容量來節省成本，但這卻也降低了不同電容器組合的選擇性，也增加了保護的

重要性。

例：已知電容器電壓為 11.9kV，容量 600kVAR，比流器比值選用 50/5，如何設定電容器之過電流電驛。



額定電流：

$$600\text{kVAR}/11.9\text{kV}\sqrt{3}=29\text{Amp}$$

$$51 : 29 \times 1.35 = 39 \quad 39 \div 50/5 = 4$$

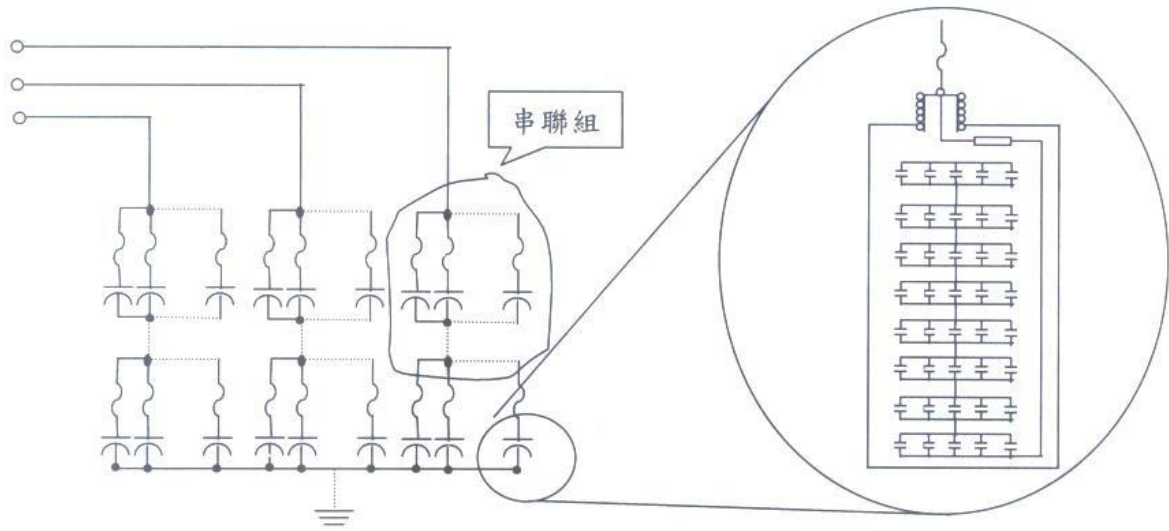
Tap 選 4 ; 時間刻度設定 : 1.0

$$51N : \text{Tap 選 } 0.5 ; \text{時間刻度設定} : 1.0$$

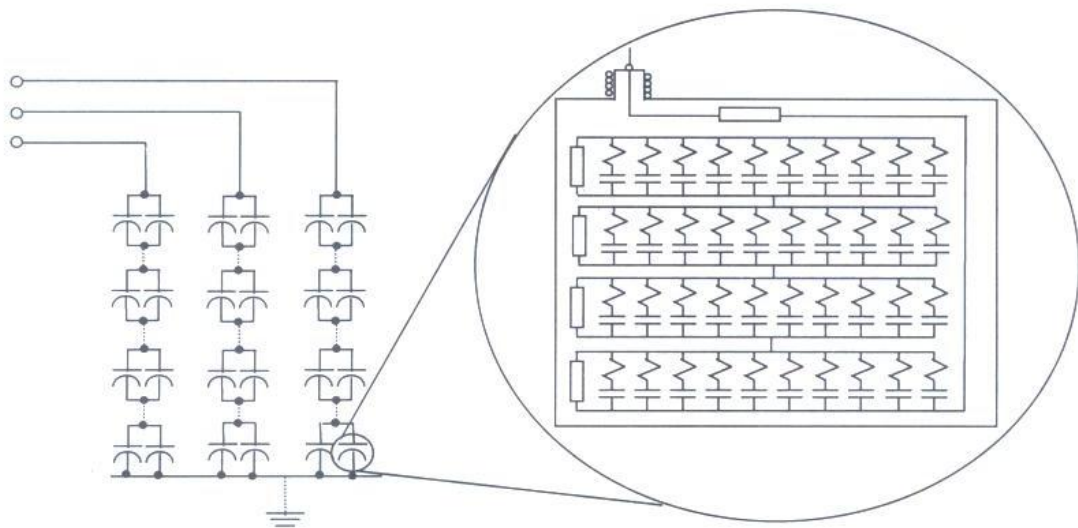
$$50 : 29 \times \underline{10} \div 50/5 = 29 \quad \text{設定 } 30\text{Amp}$$

瞬時過電流電驛的設定需考慮電容器加壓時的突入電流，一般考慮電容器額定電流的 10 倍。

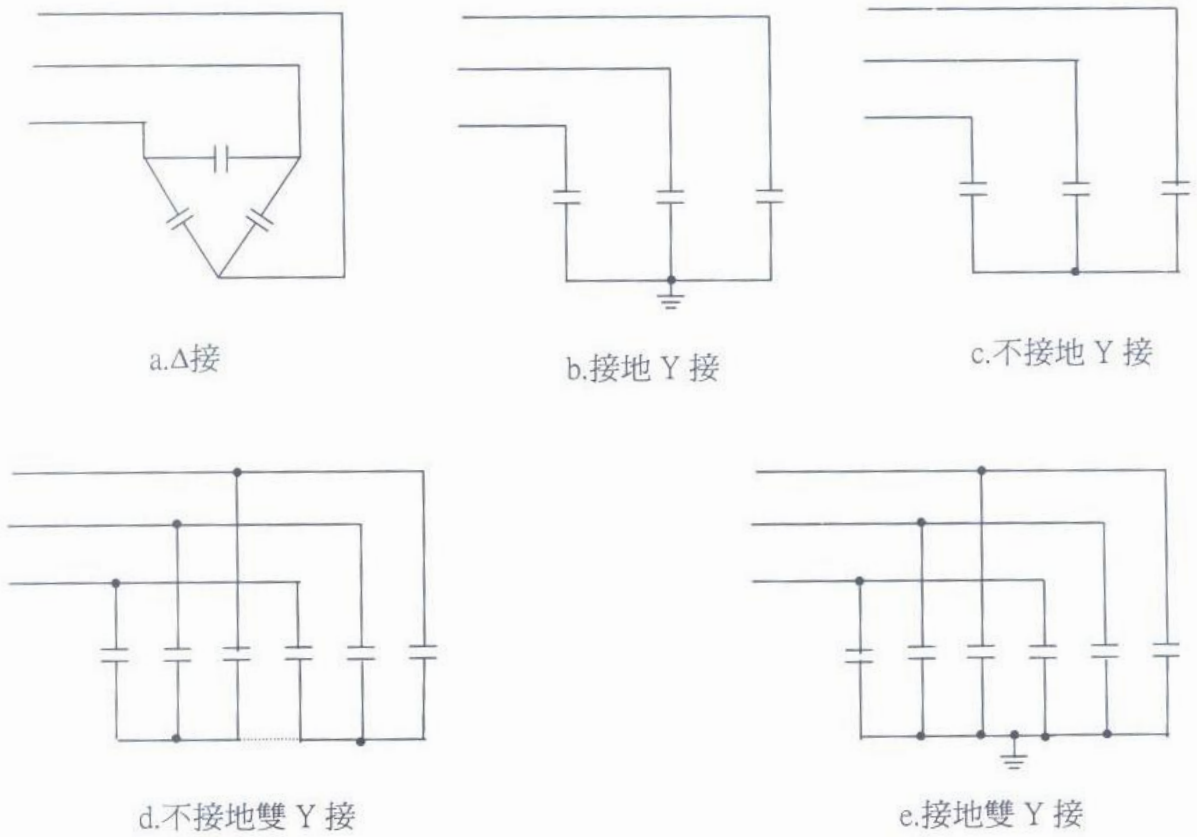




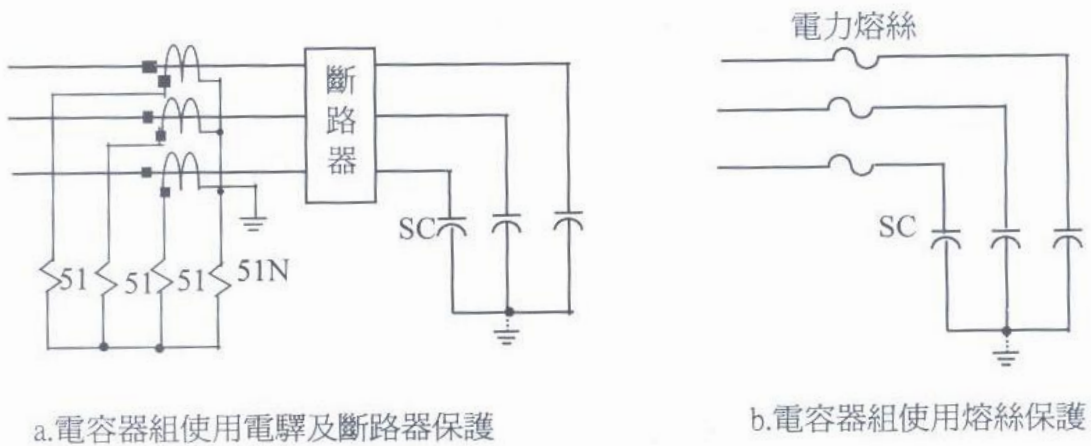
圖一、Y 接電容器組外部熔絲型電容器單元



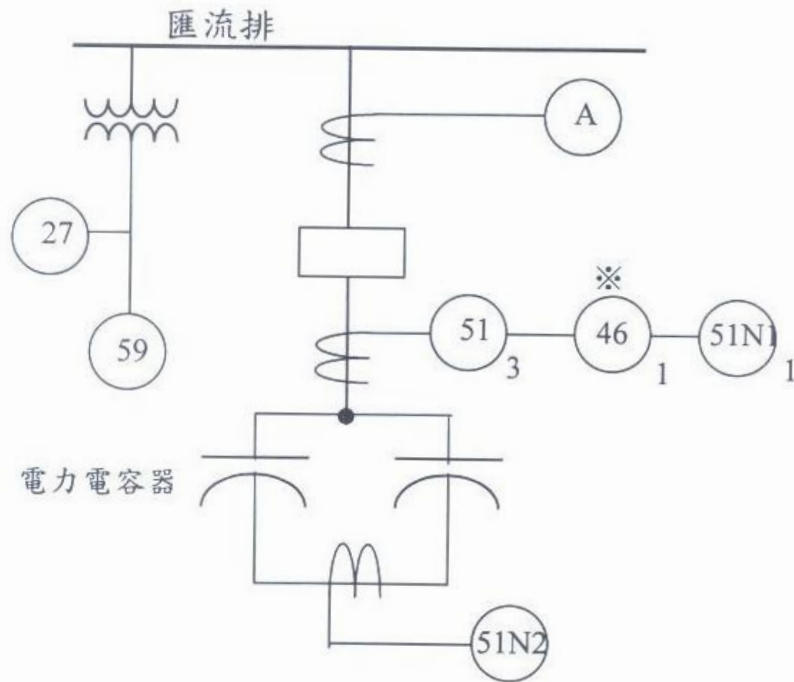
圖二、Y 接電容器組內部熔絲型電容器單元



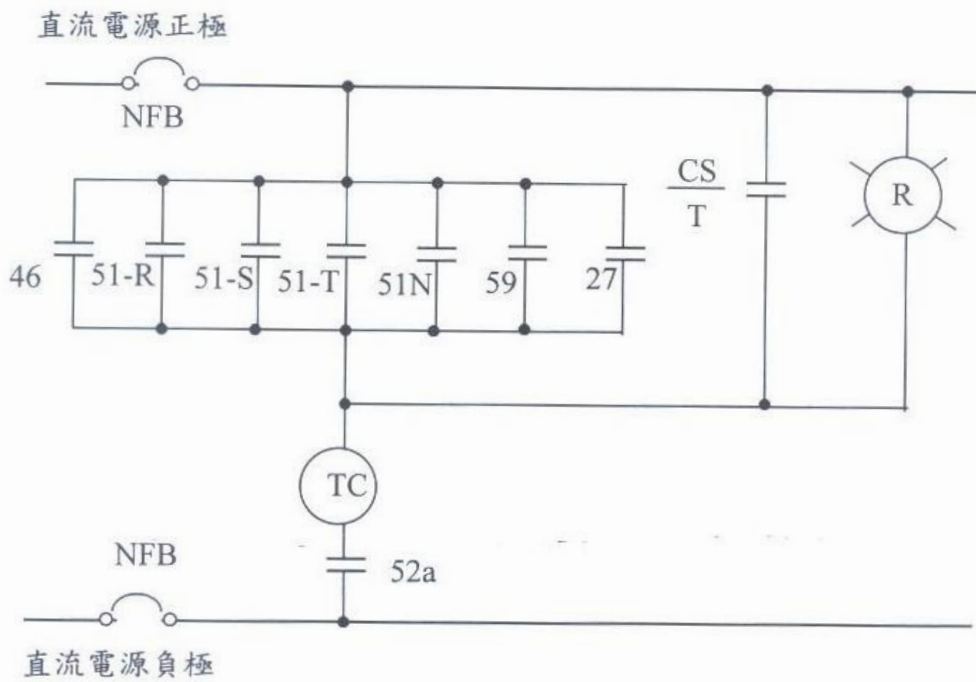
圖三、常用的五種電容器組接線方式



圖四、電容器組保護



圖五 a、電容器保護單線圖



圖五 b、電容器保護直流回路圖