

低壓諧波系統串接 6%電抗功因改善電容器 規格品之研製

Study the Spec of Capacitor with 6% Series Reactor for Improving Power Factor
in Low Voltage Harmonic Power System

經濟部標準檢驗局 台南分局

技正 林昆平

摘 要

業界常以串 6%電抗電容器組作為低壓諧波系統功因改善元件，在考慮諧波衝擊下，往往又選用額定電壓甚高的電容器，殊不知電容器額定電壓與匯流排電壓差距增加時，會造成電容器虛功補償量下降，使功因改善成效大打折扣，徒增設備浪費。本文就各常用低壓配電系統分類，以擬定一系列適合抗諧波用之串 6%電抗功因改善電容器規格品的製造及分析方式，相信對電容器製造商及設計單位有所助益。

Abstract

At low voltage power system, capacitor bank with 6% series reactor is often used to improve power factor. For the purposes of the suppression of harmonic, a comparatively higher voltage rating of capacitor is chosen. This leads to the diminishing of the reactive power, deterioration of the power improvement and squandering of the investments. This article discusses the specifications of capacitor with 6% series reactor appropriate for power improvement and harmonic suppression in various voltage level.

關鍵詞 Keywords

虛功補償 Reactive Power Compensation
諧波 Harmonics
功因 Power Factor

壹、前言

工業界向來以串接 6%電抗電容器組做為功因改善元件，理由是電容器在投入瞬間會造成短路現像，電流驟升約額定 30 倍，多段式投入時更高達 160 倍，造成電容器燒毀；但電抗器恰好相反，投入瞬間會有短暫的斷路現像，可用來阻斷突波電流，致於電抗器串接 6% 而不是 5% 或 7%，這是考慮諧波問題。配電系統中主要的諧波源是由六脈衝電力整流器產生，2 至 50 次諧波均有，5 次諧波為第一個主諧波，串接 6%電抗可使電容器組形成一個 4.08 次的諧振點阻尼，把靠近的 5 次諧波吸收下來並擔當 5 次以上諧波的分流，雖然投入時會將 2 至 4 次諧波擴大，但一般其量很小，還不致污染供電品質，詳細的情形還是要經過計算及量測才能確定。若取 5% 則電容器諧振點落在 4.47 次，隨著電容器及電抗器製造誤差、冬夏溫度不同，有可能將諧振點漂進 5 次諧波的共振點而炸掉電容器及電抗器^(1, 2)。如果取 7% 則系統諧振點落在 3.78 次，離 5 次主諧波太遠反而發揮不了抑制諧波的功能，因此 6% 是最好的選擇，不但可阻斷突波電流又可抑制部份諧波。本文即是對串接 6%電抗電容器，進行對適合各低壓諧波系統規格品之研擬，希望對業界及設計單位有所助益。

貳、220V 系統

考慮 220V 系統虛功補償量為 30Kvar 之串 6% 電抗電容器規格選定情形：

表 2.1 所示，電容器額定電壓及額定容量分別為 220V 及 30Kvar，則電抗器額定電壓及容量需取電容器額定的 6% 分別為 13.2V 及 1.8KVAR，才能維持阻抗為電容器的 6%。當此模組跨入 220V 匯流排時，計算顯示電容器及電抗器容量將變為 33.9KVAR 及 2.02KVAR 有過載現像，雖然電容器本身允許 110% 過電壓及 135% 過電流運轉，但幾個月運轉下來仍會對電容器單體造成損傷；其淨虛功達 31.88kvar，亦非期待的 30kvar。

表 2.2 所示，電容器及電抗器規格電壓提升為 234V 及 14.04V 額定，則此模組跨入 220V 匯流排時，電容器及電抗器容量將變為 30kvar 及 1.8kvar，已回復原來的額定容量，但淨虛功卻由原先規劃好的 30kvar 下降至 28.2kvar，無法滿足我們的要求。

表 2.3 所示，電容器及電抗器規格取 (31.9kvar, 234V) 及 (1.91kvar, 14.04V) 則淨虛功表現出 30kvar 且其額定電壓均滿足串聯後所造成端電壓浮升效應不致過載。電抗器阻抗維持為電容器的 6%。此種規格由於未考慮諧波所造成電容器及電抗器的增壓增流效應，故僅適用於非諧波系統中，使用 APFR 切換電容器組所造成的突波狀況。惟電容器製造商，寧可採用表 2.1 的模組，一般並不生產這種額定電壓 234v 的電容器。

表 2.4 所示，將電容器及電抗器的耐壓值提升 2 倍及 2 倍，耐流即可提升至 148A，另為維持 6% 的關係及淨虛功量 30KVAR，電容器及電抗器容量規格需修訂為 112.84KVAR 及 7.66KVAR。當系統諧波量過大時，我們可以考慮繼續加大電容器及電抗器的耐壓值，惟工程費用將持續增加。

表 2.5 所示，將電容器及電抗器的耐壓值提升 2.7 倍及 3 倍，耐流提升至 201A，另為維持 6% 的關係及淨虛功量 30KVAR，電容器及電抗器容量規格需修訂為 209.82KVAR 及 17.23KVAR。不過為了抗諧波也要付出代價的，電容器容量 209.82kvar，實際表現只有 31.9kvar，少掉的 177.92KVAR 到底跑哪裏去了？如同一個容量夠大的瓶子，小雨裝少量，大雨裝大量，怎麼裝就是

裝得下去，因此答案是用來應付隨時因負載變動流入的諧波電流。

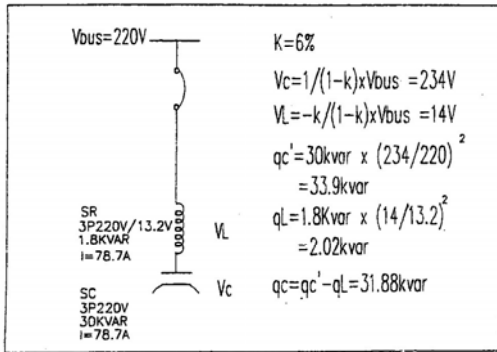


表 2.1 220V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形一)

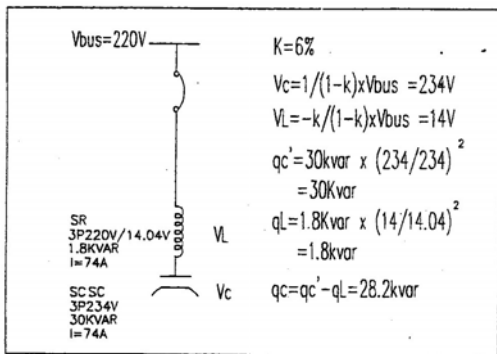


表 2.2 220V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形二)

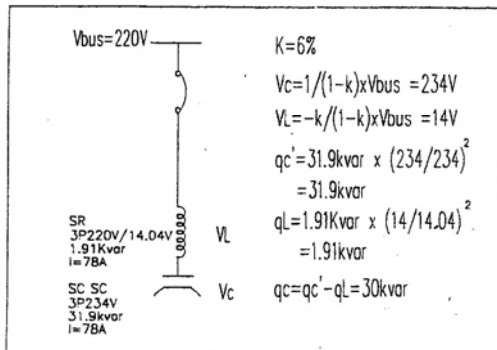


表 2.3 220V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形三)

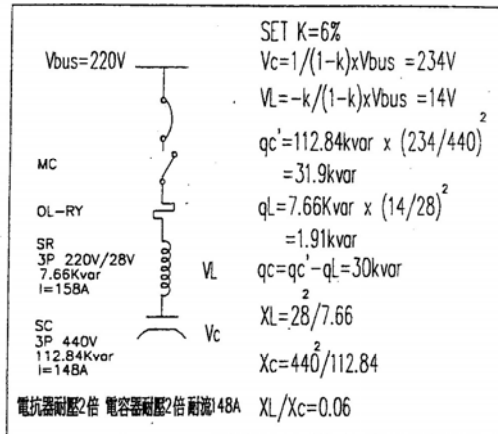


表 2.4 220V 系統抗諧波用串 6% 電抗電容器 30KVAR (模組一)

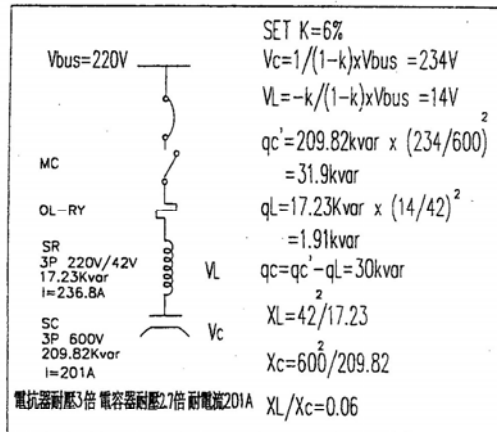


表 2.5 220V 系統抗諧波用串 6% 電抗電容器 30KVAR (模組二)

參、380V 系統

考慮 380V 系統虛功補償量為 30Kvar 之串 6% 電抗電容器規格選定情形：

表 3.1 所示，電容器額定電壓及額定容量分別為 380V 及 30Kvar，則電抗器額定電壓及容量需取電容器額定的 6% 分別為 22.8V 及 1.8KVAR，才能維持阻抗為電容器的 6%。當此模組跨入 380V

匯流排時，計算顯示電容器及電抗器容量將變為 33.95KVAR 及 2.036KVAR 有過載現象，其淨虛功達 31.88kvar，已超出額定。

表 3.2 所示，電容器及電抗器規格電壓提升為 404.25V 及 24.25V 額定，則此模組跨入 380V 匯流排時，電容器及電抗器容量將變為 30kvar 及 1.8kvar，已回復原來的額定容量，但淨虛也少了 1.8kvar。

表 3.3 所示，電容器及電抗器規格取 (31.9kvar, 404.25V) 及 (1.91kvar, 24.25V) 則淨虛功表現出 30kvar 且其額定電壓均滿足串聯後所造成端電壓浮升效應不致過載。電抗器阻抗維持為電容器的 6%。此種規格亦未考慮諧波所造成增壓增流效應，故也僅適用於非諧波系統中，用來克制切換 APFR 時所產生的突波電流。惟電容器製造商仍採用表 3.1 的模組，一般並不生產這種電壓等級的電容器。

表 3.4 所示，將電容器及電抗器的耐壓值提升 1.16 倍及 2.1 倍，耐流即可提升至 49.6A，另為維持 6%的關係及淨虛功量 30KVAR，電容器及電抗器容量規格需修訂為 37.8KVAR 及 7.66KVAR。

表 3.5 所示，將電容器及電抗器的耐壓繼續提升至 1.58 倍及 2.1 倍，耐流因而達 67.6A，另為維持 6%的關係及淨虛功量 30KVAR，電容器及電抗器容量規格需修訂為 70.3KVAR 及 7.66KVAR，發現電容器容量幾乎有一半準備拿來應付流進來的諧波。

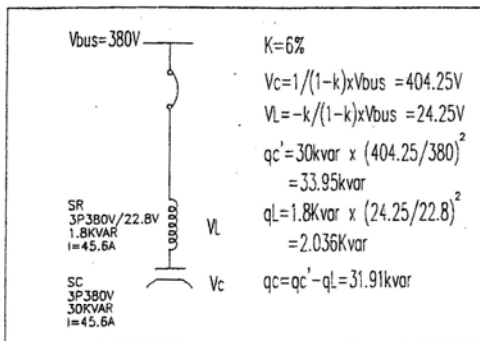


表 3.1 380V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形一)

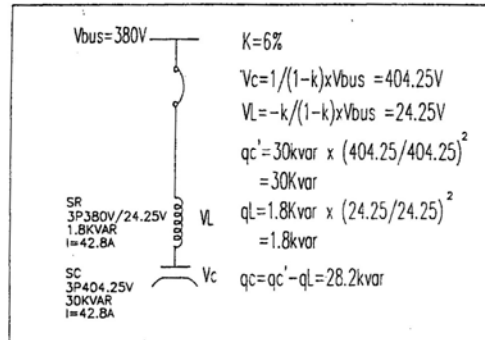


表 3.2 380V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形二)

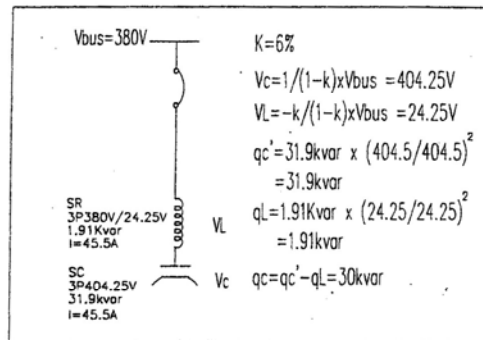


表 3.3 380V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形三)

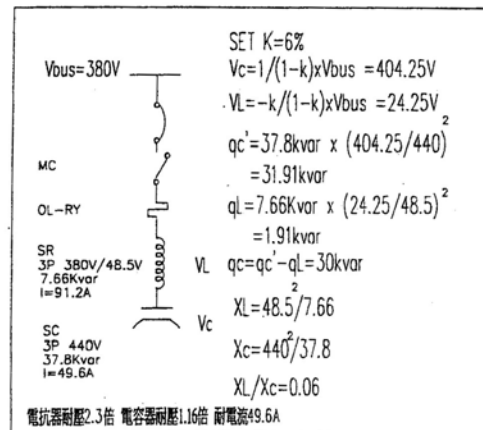


表 3.4 380V 系統抗諧波用串 6% 電抗電容器 30KVAR (模組一)

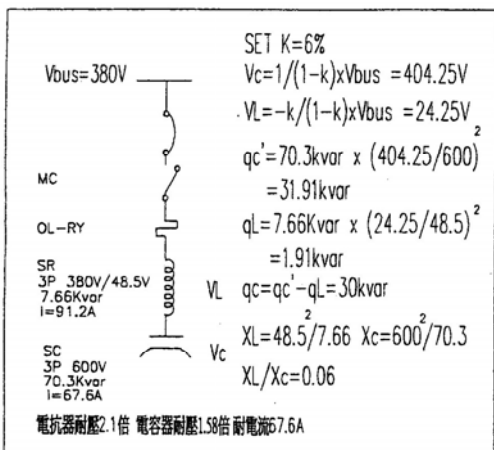


表 3.5 380V 系統抗諧波用串 6% 電抗電容器 30KVAR (模組二)

肆、440V 系統

考慮 440V 系統虛功補償量為 30kvar 之串 6% 電抗電容器規格選定情形：

表 4.1 所示，電容器額定電壓及額定容量分別為 440V 及 30Kvar，則電抗器額定電壓及容量需取電容器額定的 6% 分別為 26.4V 及 1.8KVAR，才能維持阻抗為電容器的 6%。當此模組跨入 440V 匯流排時，計算顯示電容器及電抗器容量將變為 33.95KVAR 及 2.039KVAR，淨虛功達 31.91kvar 有過載現象。

表 4.2 所示，電容器及電抗器規格電壓提升為 468.1V 及 28.1V 額定，則此模組跨入 440V 匯流排時，電容器及電抗器容量將變為 30kvar 及 1.8kvar，已回復原來的額定容量，但淨虛功卻由原先規劃好的 30kvar 下降至 28.2kvar，無法滿足我們的要求。

表 4.3 所示，電容器及電抗器規格取 (31.9kvar, 468.1V) 及 (1.91kvar, 28.1V) 則淨虛功表現出 30kvar 且其額定電壓均滿足串聯後所造成端電壓

浮升效應不致過載。電抗器阻抗亦維持為電容器的 6%。此種規格僅適用於非諧波系統中，用來克制切換 APFR 時所產生的突波電流，電容器製造商，寧可採用表 4.1 的模組，一般也不生產這種電壓等級的電容器。

表 4.4 所示，將電容器及電抗器的耐壓值提升 1.36 倍及 2.1 倍，耐流即可提升至 50.5A，另為維持 6% 的關係及淨虛功量 30KVAR，電容器及電抗器容量規格需修訂為 52.43KVAR 及 7.66KVAR。

表 4.5 所示，將電容器及電抗器的耐壓值提升 1.8 倍及 2.1 倍，耐流提升至 67.3A，另為維持 6% 的關係及淨虛功量 30KVAR，電容器及電抗器容量規格需修訂為 93.22KVAR 及 7.66KVAR。

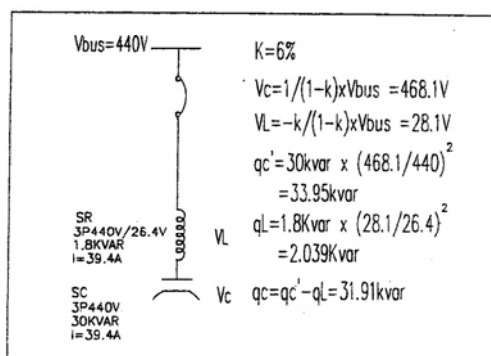


表 4.1 440V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形一)

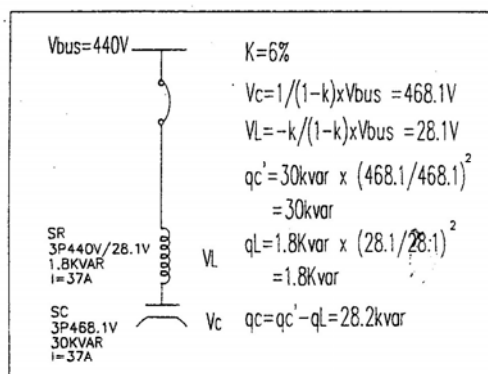


表 4.2 440V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形二)

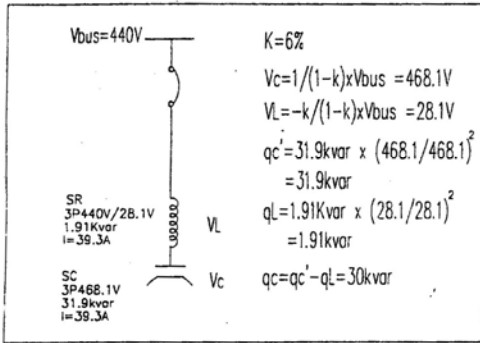


表 4.3 440V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形三)

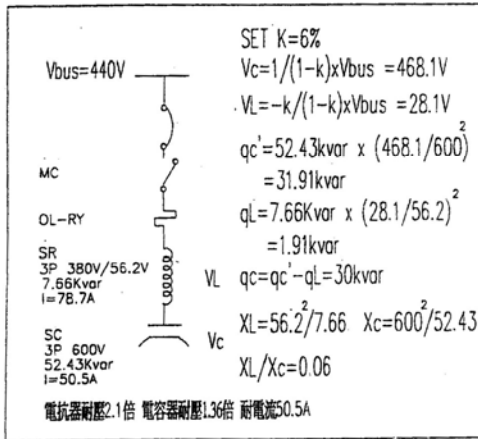


表 4.4 440V 系統抗諧波用串 6% 電抗電容器 30KVAR (模組一)

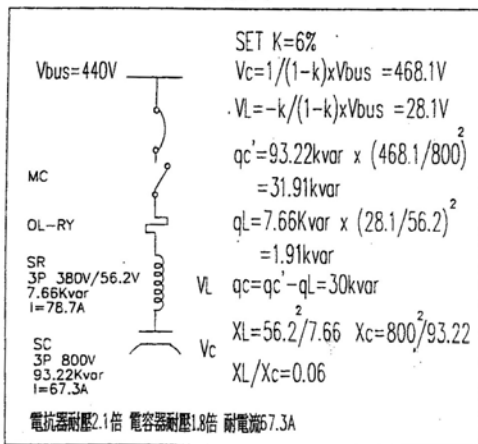


表 4.5 440V 系統抗諧波用串 6% 電抗電容器 30KVAR (模組二)

伍、600V 系統

考慮 600V 系統虛功補償量為 30Kvar 之串 6% 電抗電容器規格選定情形：

表 5.1 所示，電容器額定電壓及額定容量分別為 600V 及 30Kvar，則電抗器額定電壓及容量需取電容器額定的 6% 分別為 36V 及 1.8KVAR，才能維持阻抗為電容器的 6%。當此模組跨入 600V 匯流排時，計算顯示電容器及電抗器容量將變為 33.95KVAR 及 2.039KVAR，淨虛功達 31.91kvar 有過載現象。

表 5.2 所示，電容器及電抗器規格電壓提升為 638.3V 及 38.3V 額定，則此模組跨入 600V 匯流排時，電容器及電抗器容量將變為 30kvar 及 1.8kvar，已回復原來的額定容量，但淨虛功卻由原先規劃好的 30kvar 下降至 28.2kvar。

表 5.3 所示，電容器及電抗器規格取 (31.9kvar, 638.3V) 及 (1.91kvar, 38.3V) 則淨虛功表現出 30kvar 且其額定電壓均滿足串聯後所造成端電壓浮升效應不致過載。電抗器阻抗維持為電容器的 6%。此種規格由亦未考慮諧波所造成增壓增流效應，故也僅適用於非諧波系統中，用來克制切換 APFR 時所產生的突波電流。惟電容器製造商仍採用表 5.1 的模組。

表 5.4 所示，將電容器及電抗器的耐壓值提升 1.36 倍及 2.1 倍，耐流即可提升至 37.56A，另為維持 6% 的關係及淨虛功量 30KVAR，電容器及電抗器容量規格需修訂為 53.96KVAR 及 7.66KVAR。

表 5.5 所示，將電容器及電抗器的耐壓繼續提升至 1.67 倍及 2.1 倍，耐流提升至 45.2A，另為維持 6% 的關係及淨虛功量 30KVAR，電容器及電抗器容量規格需修訂為 78.33KVAR 及

7.66KVAR。電容器容量幾乎一半以上拿來承受諧波衝擊。

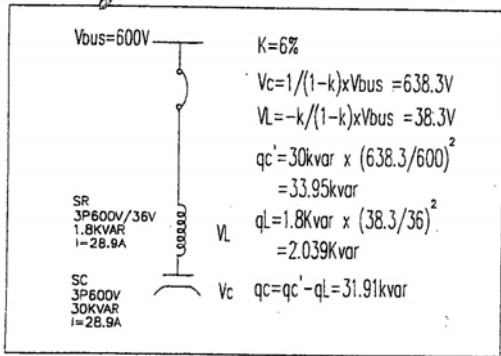


表 5.1 600V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形一)

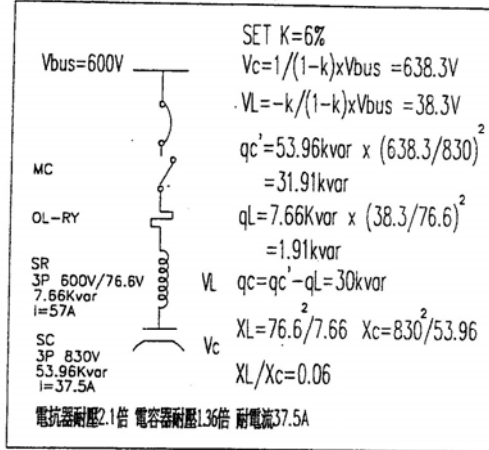


表 5.4 600V 系統抗諧波用串 6% 電抗電容器 30KVAR (模組一)

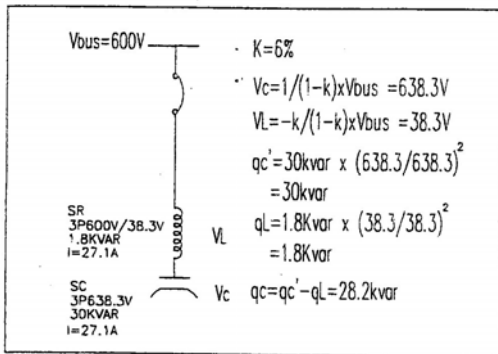


表 5.2 600V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形二)

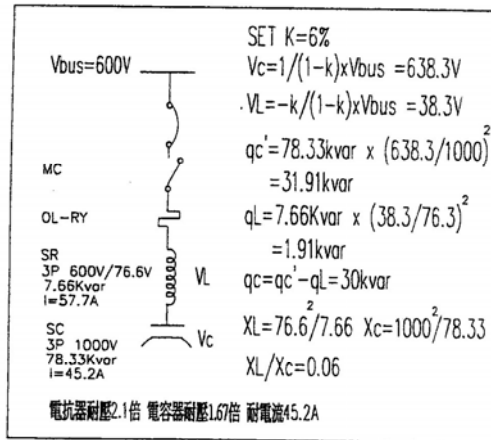


表 5.5 600V 系統抗諧波用串 6% 電抗電容器 30KVAR (模組二)

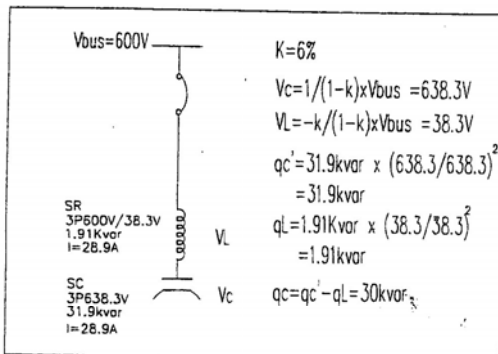


表 5.3 600V 系統電容器串 6% 電抗器 (情形三)

陸、應 用

以一 220V 系統諧波負載專用獨立盤為例，其功因改善計算如下：

設諧波負載總容量共 $S=400KVA$

基波電流 $I_1=1050A$

諧波電流估算為 $I_5=210A$, $I_7=150A$,

$$I_{11}=95A, I_{13}=80A$$

綜合電流 $I=\sqrt{\text{sqr}(I_1)+\sum \text{sqr}(I_n)}=1088A$

功因 $PF1=0.55$, $\theta 1=58.7^\circ$

實功 $P=400\times 0.55=220KW$

欲改善功因至 $PF2=0.95$, $\theta 2=18.2^\circ$

虛功補償 $Qc'=220\times(\tan \theta 1-\tan \theta 2)=289kvar$

假設全部流入串 6%電抗電容器組則：

[case1] 取表 2.4 (模組一) 10 套共 300kvar，
足以改善功因至 0.95 以上
其耐流 $148A > 108.8A$ ，在此諧波系統中作為
功因改善模組，相當安全。

[case2] 取表 2.5 (模組二) 10 套共 300kvar，
足以改善功因至 0.95 以上
其耐流 $201A > 108.8A$ ，在此諧波系統中作為
功因改善模組，更不可能燒毀。

柒、結 論

本文所提各系統 (模組一) 及 (模組二)，事實上便是一種專門用在諧波系統中作為功因改善電容器組的製作與分析方式。電容器製造商可依電容器、電抗器耐壓逐一提升 (例如 20V 為一單位倍率增加) 並計算出模組承受的額定電流 (此視為耐流值較為安全，雖然電容器一般可承受 130% 額定，但長久運轉畢竟對單體仍會有損壞)，可製作出一系列抗諧波專用功因改善電容器模組。但筆者要強調的是，這樣的模組並不能保證將諧波抑制至符合 IEEE-519 標準。別忘了！在上一節我們

是假設所有諧波電流全部被模組吸收，但事實上由於各個工廠、大樓配電系統參數不同，模組吸收諧波量有限，不可能全部吸收，這也是為什麼有些工廠在使用國外規格品後，諧波失真仍然不合格的主因。就算廠商調電抗器的 Type 以提升模組諧振點，增加諧波吸收率，卻更易併發諧振點漂移現象 (detuning)⁽²⁾ 引起模組串聯共振而毀損電容器，實務上這種案例確實發生過，駐台廠商往往以電氣人員維護不周，推卸責任，業主只有吃悶虧的份，台塑仁武廠即是一例。

捌、參考文獻

1. L.K.P, "An Advanced Computer Code for Single-Tuned Harmonic Filter Design", IEEE Industry & Commercial Power system Conference, pp.105-114, 1997.
2. L.K.P, "An Advanced Computer Code for Single-Tuned Harmonic Filter Design", IEEE Transation on Industry Application, Vol.34, No.4, pp.640-648, July/Aug, 1998.
3. 郭麟英著：「電力諧波計算及書審作業之 OA 化」，第 533 期台電工程期刊，Jan. 1993。
4. C.K. Duffey, and R.P. Stratford. "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems", IEEE Std. 519-1992.
5. 謝文考著：「配電系統電容器組的應用及對電力品質的衝擊」，No. 37/38，電力電子期刊，FEB/APR, 1997, pp.21-24。