

# 以相移操作技術解決電力整流器諧波問題

Application of P.M.T. to Solve the Rectifier Harmonic Problems

經濟部標準檢驗局 台南分局

技正 林昆平

## 摘 要

本文介紹相移操作技術來解決目前因六脈衝電力整流器所引起的諧波問題。除了避開困難的濾波器設計外，亦可為業主節省經費。文中將詳細剖析此諧波源產生諧波的過程；並以 Fourier 級數導出相移操作的原理；最後以某八吋晶元廠作為本項技術應用案例，以期或台灣諧波問題的盡一份心力。

## Abstract

This article introduces the Phase Multiplication Technique for solving the harmonic problem produced by six-pulse inverters. In addition to be exempt from the arduous job of filter design, the P.M.T. is also cheaper than the filter. The harmonic sources were analyzed and the Fourier Series was used to derive the principle of P.M.T. Finally the P.M.T. will be applied to an 8-in crystal semiconductor factory.

關鍵詞 Keywords

相移操作技術 Phase Multiplication Technique (PMT)

長晶器 Crystal Puller

靜磁器 Cystal Magnet

壹、前言

近來諧波問題日益嚴重、除了威脅供電品質外，用以改善功因數的電容器組損壞時有所聞。台灣電力公司有鑑於此，於83年頒佈諧波抑制政策。其中電力整流器容量達300KVA以上者，其送審圖面需檢討諧波改善相關資料。本公司目前設計不少科學園區內電子廠，其中製造八吋晶元的長晶器 (Crystal Puller) 及降低晶液擾動的靜磁器 (Crystal Magnet) 即是由電力整流器所構成；容量甚大每套達473KVA。另外化工廠內的電鍍機、鋼鐵廠內的軋鋼機均是此類6脈衝 (pulse) 整流器所構成。

濾波器設計由於事關商業機密及動輒數百萬元的設計費，廠商均不願透露設計資料及細節，筆者將介紹一種相移操作法 (phase multiplication)，可避開困難的濾波器設計同樣達到抑制諧波的效果。

故本文依續介紹6 Pulse 整流器產生諧波過程；其次利用Fourier級數，導出相移操作的原理，最後以某電子廠設計實例作為測試 (本實諧波檢討已送審通過)，印證其可行性。

貳、6 Pulse 電力整流器<sup>(1,2)</sup>

6 pulse 整流器如圖2.1所示，其前端均置有變壓器。e<sub>R</sub>、e<sub>S</sub>、e<sub>T</sub>代表三相電源；U<sub>R2</sub>、U<sub>S2</sub>、U<sub>T2</sub>代表變壓器二次側線電壓；L<sub>R</sub>、L<sub>S</sub>、L<sub>T</sub>代表變壓器電感 (併至二次側)。假設變換電路操作

在理想狀況 (交流側輸入輸入阻抗為零，直流側感抗無限大，SCR 激發角為零) 則變壓器二次側線電壓與線電流波形的關係可描述如圖2.2所示。每次導通有2個SCR形成迴路，例如V<sub>R2</sub>>V<sub>T2</sub>>V<sub>S2</sub>時1、6號SCR會導通，依此類推可把I<sub>R2</sub>、I<sub>S2</sub>、I<sub>T2</sub>二次側線電流描繪出來。但變壓器繞法不同，其一次側線電流也會不同，為了維持二次側線電壓不變，變壓器接成ΔY、ΔΔ、YY的匝數比需維持√3:1:1:1，1:√3, 1:1的關係。參考圖2.3可找到變壓器一次側線電流與二次側線電流的關係如(2-1)式~(2-4)式。

$$\Delta Y \quad I_{R1} = (1/\sqrt{3})(I_{T2} - I_{R2}) \quad (2-1)$$

$$\Delta \Delta \quad I_{R1} = -I_{R2} = I_{S2} + I_{T2} \quad (2-2)$$

$$\Delta Y \quad I_{R1} = -I_{S2} = \sqrt{3}(I_{S2} - I_{R2}) \times (1/3) \quad (2-3)$$

$$YY \quad I_{R1} = -I_{S2} = -I_{T2} = -I_{R2} \quad (2-4)$$

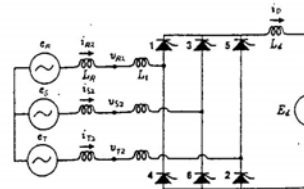


圖2.1 6 PULSE 整流器示意圖

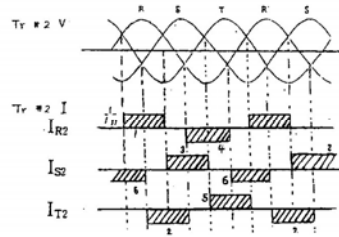


圖2.2 整流器導通時 V<sub>2</sub> 與 I<sub>R2</sub>、I<sub>S2</sub>、I<sub>T2</sub> 的波形關係

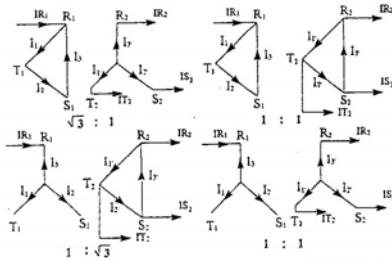


圖2.3 變壓器一次側、二次側線電流標示圖

因此依(2-1)式~(2-4)式的關係,圖2.2  $I_{R2}$ 、 $I_{S2}$ 、 $I_{T2}$  波形相加減可得對應  $\Delta Y$ 、 $\Delta \Delta$ 、 $YY$  接一次側 R 相線電流波形如圖 2.4 所示,這裡我們發現  $\Delta Y$ 、 $Y \Delta$  為同一種形狀的波形; $\Delta \Delta$ 、 $YY$  為另一組相同皮波形。且其波形不再是正弦波而是受整流器釋放出的諧波所污染;為了分析其諧波成份,我們準備使用 Fourier 級數來作展開。

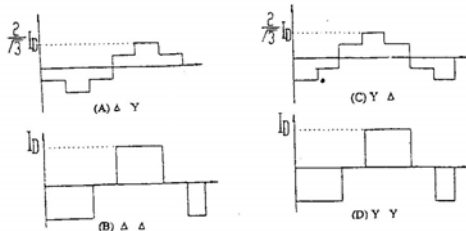


圖2.4 變壓器一次側 R 相線電流

## 2.2 Fourier 級數

任一非弦波的連續函數  $f(t)$  可使用 Fourier 級數展開成各頻率不同的弦波函數如下:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \omega t + b_n \sin \omega t \quad (2-5)$$

其中

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos n \omega t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin n \omega t dt$$

對於圖 2.4(A) 及圖 2.4(C) 的波形,可視為一週期  $T$  的函數如圖 2.5 所示,因此:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} I_R(t) dt \\ &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_R(t) dt = 0 \end{aligned} \quad (2-6)$$

$$\begin{aligned} a_n &= 2 \left( \frac{2}{T} \right) \int_0^{T/2} I_R(t) \cos n \omega t dt \\ &= \frac{2}{\pi} \left( \frac{n}{1} \right) (I_b / \sqrt{3}) [2 \sin \theta]_0^{T/2} \\ &\quad + \sin \theta \left[ \frac{3/12 T_{\text{on}}}{1/12 T_{\text{on}}} - \sin \theta \left[ \frac{5/12 T_{\text{on}}}{3/12 T_{\text{on}}} \right] \right. \\ &\quad \left. - 2 \sin \theta \left[ \frac{5/12 T_{\text{on}}}{6/12 T_{\text{on}}} \right] \right] \\ &= \frac{2 I_b}{\sqrt{3} \pi} \left( \frac{1}{n} \right) \left[ \sin \frac{1}{6} n \pi + 2 \sin \frac{n}{2} \pi \right. \\ &\quad \left. - 2 \sin n \pi + \sin \frac{5}{6} n \pi \right] \\ &= \frac{2 \sqrt{3} I_b}{3 \pi} \left( \frac{1}{n} \right) \left[ \sin 30^\circ n + \sin 90^\circ n \right. \\ &\quad \left. + \sin 150^\circ n \right] \end{aligned} \quad (2-7)$$

其中  $\omega = 2\pi f$ ,  $T\omega = 2\pi$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$

$$b_n = 2 \left( \frac{2}{T} \right) \int_0^{T/2} I_R(t) \sin n \omega t dt = 0 \quad (2-8)$$

亦即對於前置變壓器  $Y-\Delta$ ,  $\Delta Y$  接的 6 pulse 整流器其一次側線電流展開為:

$$\begin{aligned}
 I_R(t) = I_1 [ & \cos \omega t + 1/5 \cos 5\omega t \\
 & - 1/7 \cos 7\omega t - 1/11 \cos 11\omega t \\
 & + 1/13 \cos 13\omega t + 1/17 \cos 17\omega t \\
 & - 1/19 \cos 19\omega t - 1/23 \cos 23\omega t \\
 & + 1/25 \cos 25\omega t + 1/29 \cos 29\omega t \\
 & - 1/31 \cos 31\omega t - 1/35 \cos 35\omega t \\
 & + 1/37 \cos 37\omega t + 1/41 \cos 41\omega t \\
 & - 1/43 \cos 43\omega t - 1/47 \cos 47\omega t \\
 & + 1/49 \cos 49\omega t ] \quad (2-9)
 \end{aligned}$$

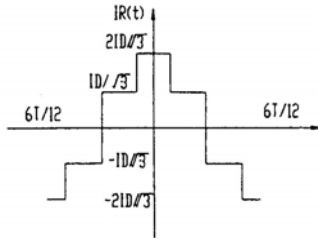


圖 2.5  $\Delta$  Y,  $\Delta$  接 6 PULSE 整流器其一次側產生諧波電流波形

同理對於圖 2.4(B) 與圖 2.4(D) 的波形，可視為圖 2.6 的週期函數。因此：

$$\begin{aligned}
 a_0 &= \frac{1}{2(T/2)} \int_{-T/2}^{T/2} I_R(t) dt \\
 &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_R(t) dt = 0 \quad (2-10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_n &= \frac{2}{(T/2)(n\omega)} \int_0^{T/2(n\omega)} I_R(t) \cos \theta d\theta \\
 &= \frac{2I_D}{\pi} \left(\frac{1}{n}\right) [\sin \theta]_0^{1/6 T n \omega} - \sin \theta]_{2/6 T n \omega} \\
 &= \frac{2I_D}{\pi} \left(\frac{1}{n}\right) [\sin \frac{1}{3} n\pi - (\sin n\pi \\
 &\quad - \sin \frac{2}{3} n\pi)] \\
 &= \frac{2I_D}{\pi} \left(\frac{1}{n}\right) [\sin 60^\circ n - \sin 120^\circ n] \quad (2-11)
 \end{aligned}$$

其中  $\omega = 2\pi f$ ,  $T\omega = 2\pi$ ,  $n = 1, 2, 3 \dots$

$$b_n = 2 \left(\frac{2}{T}\right) \int_0^{T/2} I_R(t) \sin n\omega t dt = 0 \quad (2-12)$$

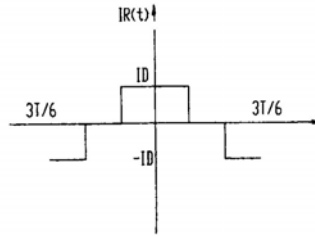


圖 2.6  $\Delta$   $\Delta$ , Y Y 接 6 PULSE 整流器其一次側產生諧波電流波形

亦即對於前置變壓器  $\Delta - \Delta$ , Y - Y 接的 6 pulse 整流器其一次側線電流展開為：

$$\begin{aligned}
 I_R(t) = I_1 [ & \cos \omega t - 1/5 \cos 5\omega t \\
 & + 1/7 \cos 7\omega t - 1/11 \cos 11\omega t \\
 & + 1/13 \cos 13\omega t - 1/17 \cos 17\omega t \\
 & + 1/19 \cos 19\omega t - 1/23 \cos 23\omega t \\
 & + 1/25 \cos 25\omega t - 1/29 \cos 29\omega t \\
 & + 1/31 \cos 31\omega t - 1/35 \cos 35\omega t \\
 & + 1/37 \cos 37\omega t - 1/41 \cos 41\omega t \\
 & + 1/43 \cos 43\omega t - 1/47 \cos 47\omega t \\
 & + 1/49 \cos 49\omega t ] \quad (2-13)
 \end{aligned}$$

由 (2-9) 式及 (2-13) 式可知 6 pulse 電力整流器，其產生諧波成份為  $k = 6n \pm 1$  次諧波， $n = 1, 2, 3 \dots$ ，且其諧波波幅為：

$$I_k = \frac{I_1}{k} \quad (2-14)$$

其中  $I_1 = \frac{2\sqrt{3} I_D}{\pi}$ ,

$I_D$  : 直流負載輸出端電流。

隨著諧波次數增加，其對應波幅逐漸減少。

### 參、相移操作 (Phase Multification)

仔細觀察 (2-9) 式及 (2-13) 式可發現兩條式子唯一不同的地方是諧波電流的正負方向，產生這樣的原因乃因當初變壓器不同接法所造成的 30° 相移。如果我們將 (2-9) 式 (2-13) 式相加得：

$$\begin{aligned}
 & I_{R1} + I_{R1} \\
 & (\Delta Y, Y \Delta) \quad (\Delta \Delta, \Delta Y) \\
 & = I_1 (-2/11 \cos 11 \omega t + 2/13 \cos 13 \omega t \\
 & \quad - 2/23 \cos 23 \omega t - 2/25 \cos 25 \omega t \\
 & \quad - 2/35 \cos 35 \omega t + 2/37 \cos 37 \omega t \\
 & \quad - 2/47 \cos 47 \omega t + 2/49 \cos 49 \omega t) \\
 & \quad \quad \quad (3-1)
 \end{aligned}$$

可以發現 5, 7 次主諧波電流及 17, 19, 29, 31, 41, 43 次次諧波電流已被變壓器的相移現象所消滅，雖然其它次諧波加倍。而這種利用變壓器繞法不同來抵消諧波的動作便稱為相移操作 (Phase Multiplication)。換句話說若工廠有偶數台直流負載則其前置變壓器不妨接成  $\Delta Y$ 、 $\Delta \Delta$ 、 $\Delta Y$ 、 $\Delta \Delta$ ……依序並聯起來則 5, 7, 17, 19, 29, 31……次諧波電流會在匯流排上 (並聯點) 完全抵消，這種利用變壓器相移操作的方法可大大抑制諧波對電源端的污染。在技術層面上更可在變壓器一次側及二次側間放入阻隔板，利用高次諧波阻擋板呈現高電抗的特性，將諧波堵死在負載側使其無法進入電源端。若工廠有奇數台直流負載則最後一台可採用 12 pulse 整流器，並配置三繞組變壓器如圖 3.1 所示，其原理和相移操作一樣，可抵消部分諧波。但實際上由於直流負載不盡相同，SCR 激發角非 0°，變壓器繞匝比不盡合乎圖 2.3 所示，故諧波不會完全抵消，另外整流器產生的各次諧波電流實際值比理論值 (2-14) 式來得小，因此作諧波模擬所需的諧波電流資料應向廠商索取，而不該用理論作為模擬系統所需的資料；若廠商不提供則

需以諧波分析儀實測責任分界點之諧波電流 (至少放三天以上) 的統計資料作為模擬資料。

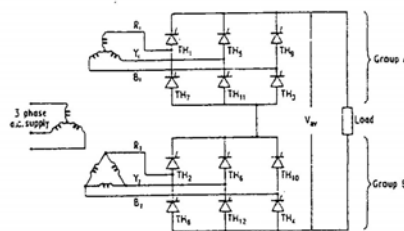


圖 3.1 12 PULSE 整流器及其前置變壓器

### 肆、八吋晶元電子廠

#### 4.1 描述

圖 4.1 為某電子廠諧波負載單線圖概略，該廠在八十四年底首先安裝 16 套 Crystal Puller 及 Crystal Magnet。整廠為 69KV 雙迴路供電，經去函台電公司取得電源最小短路容量為 1102MVA，至八十五年底該廠增設至 40 套。Crystal Puller & Magnet 如圖 4.2 所示；圖 4.3 顯示其內部構造。長晶過程首先必需把半導體材料 Si or AsGa 溶解，其次利用種晶及拉棒旋轉逐漸拉出八吋晶元片，以供下游工業、電腦 IC、固態元件、VLSI 製作電路。但是半導體材料 Si、AsGa 其溶解點在 1420°C，因此 Crystal Puller 內部有一石墨組成的爐體，其外加裝一組輻射加熱線圈；這組加熱器為了具有高電流加熱能力並不受附近磁場耦合效應變更電流大小，影響加熱的均勻性故其電源是通入直流 (DC)。通常 50KG 材料從被溶解至長成八吋晶元 1.5 米，需 100KVA 的電力持續供電 72hr，故其諧波的污染可想而知。另外加熱過程溶液會發生熱擾動情形，致影響晶元的均勻性，因此外圍會加裝一組靜磁器 Crystal Magnet 如

圖 4.4，利用靜磁場來減低材質之擾動；500~5000 Gauss 的靜磁場需 100KVA DC 電力來產生、其諧波污染亦值得堪慮。因此對於一個八吋

晶元廠，在作電力規劃時，其諧波的抑制需加以重視否則諧波所造成的電容器損壞及電驛誤動作致使全廠供電不穩將在稍後時日逐漸顯現。

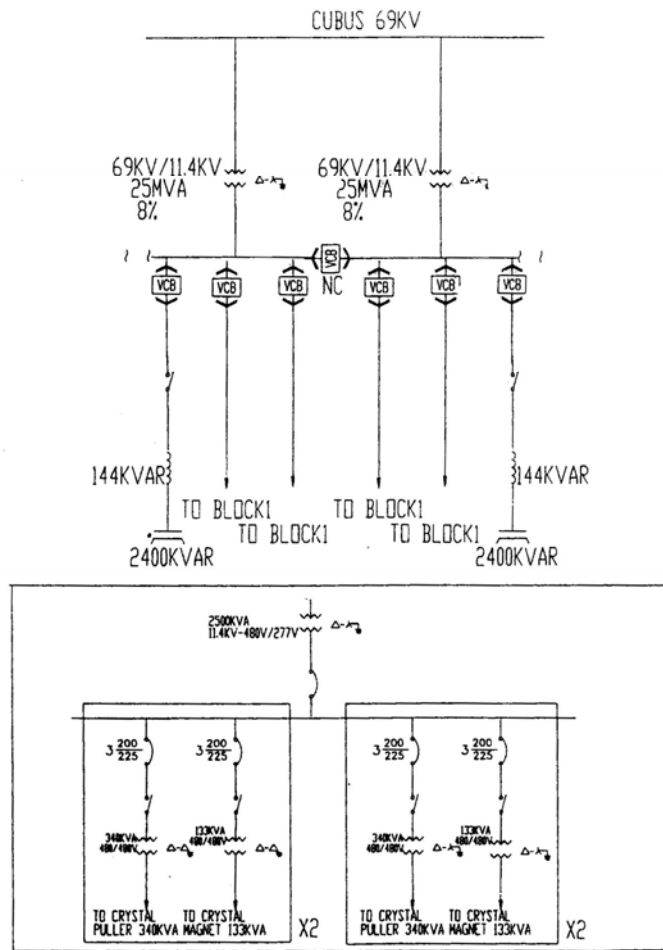


圖4.1 電子廠諧波負載單線圖概略

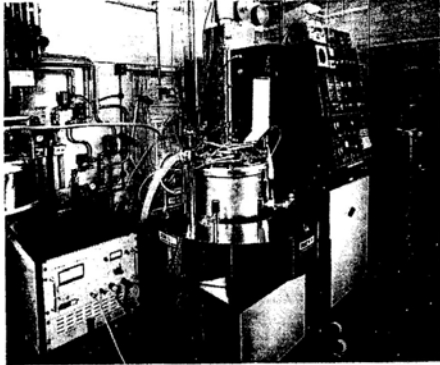


圖4.2 長晶器及靜磁器外觀

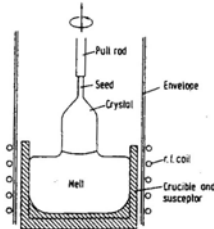


圖4.3 長晶器內部構造

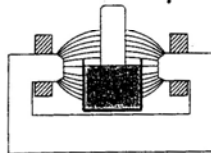


圖4.4 靜磁器加磁過程

#### 4.2 諧波檢討<sup>(3,5)</sup>

圖 4.5 為該電子廠諧波檢討之單線圖描述。以下針對八十四年底 16 套 Crystal Puller & Magnet，八十五年底 40 套全部投入時，責任分界點上諧波電流含率作檢討。

##### 4.2.1 投入 16 套未採用相移操作

本狀況為 16 台 3 $\phi$  340KVA 及 3 $\phi$  133KVA Tr 全部拿掉，直接由 480V 匯流排供電。

##### (a) 基本資料描述

- (1) 供電壓  $V_1 = 69.0KV$ ，  
 基準容量  $S_b = 10.0MVA$ ，  
 主 TR 容量  $ST = 25000.0 KVA$

- (2) 台電公司提供責任分界點電源最小短路容量  $SCC = 1102.0 MVA$ ，  
 因此短路電流  $I_{Sc} = (1102.0 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 69.0) = 9221.1 A$

- (3) 另本工程為〔新 / 增設工程〕其負載電流取主變壓器一次側額定電流  
 $IL = 25000.0 / (\sqrt{3} \times 69.0) = 209.2 A$

- (4)  $I_{Sc} / IL = 9221.14 / 209.19 = 44.08$   
 應查〔諧波管制暫行標準審核表中〕<sup>(4)</sup> 第 2 列限制值作為審核依據。

##### (b) 相關用電資料

廠商所給〔諧波源清單〕及  $I_h$  並入系統之 PU 值轉換。

[NO.1] 設備名稱：CRYSTAL PULLER，  
 容 量：340KVA，  
 台 數：16 台，  
 注入處電壓：0.48KV

1	409A=0.0340pu
5	( 18% $\times$ 409 ) = 73.62A=0.0061pu
7	( 11% $\times$ 409 ) = 44.99A=0.0037pu
11	( 5% $\times$ 409 ) = 20.45A=0.0017pu
13	( 3% $\times$ 409 ) = 12.27A=0.0010pu
17	( 2% $\times$ 409 ) = 8.18A=0.0007pu
19	( 1% $\times$ 409 ) = 4.09A=0.0003pu

$$\begin{aligned} \text{電流基值} &= \\ &= (10 \times 1000 \text{KVA}) / (\sqrt{3} \times 0.48 \text{KV}) \\ &= 12028 \text{A} \end{aligned}$$

[NO.2]設備名稱：PULLER MAGNET，  
容 量：133.KVA，  
台 數：16 台，  
注入處電壓：0.48KV

1	160A=0.0133pu
5	( 18%×160 ) = 28.8A=0.0024pu
7	( 11%×160 ) = 17.6A=0.0015pu
11	( 5%×160 ) = 8A=0.0007pu
13	( 3%×160 ) = 4.8A=0.0004pu
17	( 2%×160 ) = 3.2A=0.0003pu
19	( 1%×160 ) = 1.6A=0.0001pu

電流基值 = 12028A

(c) 改善前注入〔責任分界點〕之各次及總和諧波電流失真率檢討

將(b)內各諧波波併入系統之各次(轉換PU值)×(台數)再相應相加,得〔前欄數值〕如下:

又責任分界點基波電流IL1=209.2Amp以Sb, V1並入系統後為:2.5PU,除以此值,得〔後欄失真〕如下:

次	D.P 點電流值	電流失真率%(Dm)
* 5	0.1362pu	5.448%
7	0.0833pu	3.332%
11	0.0378pu	1.512%
13	0.0227pu	0.908%
17	0.0151pu	0.604%
19	0.0076pu	0.304%

\* 改善前總和諧波失真 THD =  $\sqrt{\sum Dm^2} = 6.66\%$   
註 \* 表不合標準。

#### 4.2.2 投入 16 套採用相移操作

本狀況為加裝 16 台 3φ 340KV 及 3φ 133 KVA 之變壓器於諧波負載前並使變壓器接法維持 ΔΔ、ΔY、ΔΔ、ΔY……的排列。

##### (a) 資料分析

本工程在諧波源前放置變壓器,分別接成 ΔY, YΔ 接具有抵消 5, 7, 17, 19, 29, 31, 41, 43 次諧波的功能(Phase Multifunction), 抵消後每台將只剩下該次諧波電流的 5%(ref IEEE) 其他次諧波則無抵消功用。

[NO.1]CRYSTAL PULLER 340KVA×16,  
0.48KV

1	409A=0.0340pu
5	( 18%×409 ) × 5% = 3.681A = 0.0003pu
7	( 11%×409 ) × 5% = 2.2495A = 0.0002pu
11	( 5%×409 ) = 20.45A = 0.0017pu
13	( 3%×409 ) = 12.27A = 0.0010pu
17	( 2%×409 ) × 5% = 0.409A
19	( 1%×409 ) × 5% = 0.2045A



[NO.2]PULLER MAGNET 133KVA×16,  
0.48KV

1	160A=0.0133pu
5	( 18%×160 )×5%=1.44A=0.0001pu
7	( 11%×160 )×5%=0.88A=0.0001pu
11	( 5%×160 )=8A=0.0007pu
13	( 3%×160 )=4.8A=0.0004pu
17	( 2%×160 )×5%=0.16A
19	( 1%×160 )×5%=0.08A

(b) 相移操作後注入〔責任分界點〕之各次及線和諧波電流失真檢討

次	D.P 點電流值	電流失真率%(Dm)
5	0.0068pu	0.272%
7	0.0042pu	0.168%
11	0.0378pu	1.512%
13	0.0227pu	0.908%
17	0.0008pu	0.032%
19	0.0004pu	0.016%

改善後總和諧波失真  $THD = \sqrt{\sum Dm^2} = 1.793\%$

4.2.3 投入40套，未採用相移操作

本狀況為直接以480V匯流排供電給諧波負載並未加裝40台3φ KVA及3φ 133KVA變壓器。

(a) 基本資料描述  
參考 4.2.1(a)

(b) 相關用電資料  
參考 4.2.1(b)

(c) 改善前注入〔責任分界點〕之各次及總和諧波電流失真率檢討

次	D.P 點電流值	電流失真率%(Dm)
* 5	0.3406pu	13.624%
* 7	0.2081pu	8.334%
* 11	0.0946pu	3.784%
* 13	0.0568pu	2.272%
* 17	0.0378pu	1.512%
19	0.0189pu	0.756%

\* 改善前總和諧波失真  $THD = \sqrt{\sum Dm^2} = 16.65\%$   
註 \* 表不合標準。

4.2.4 投入40套採用相移操作

本狀況為加裝40台3φ 340KVA及3φ 133KVA之變壓器於諧波負載前並使變壓器接法維持△△、△Y、△△、△Y……的排列。

(a) 資料分析  
參考 4.2.2(a)

(b) 相移操作後注入〔責任分界點〕之各次及線和諧波電流失真檢討：

次	D.P 點電流值	電流失真率%(Dm)
5	0.017pu	0.68%
7	0.0104pu	0.416%
* 11	0.0946pu	3.784%
* 13	0.0568pu	2.272%
17	0.0019pu	0.076%
19	0.001pu	0.036%

\* 改善後總和諧波失真  $THD = \sqrt{\sum Dm^2} = 4.486\%$   
註 \* 表不合標準。

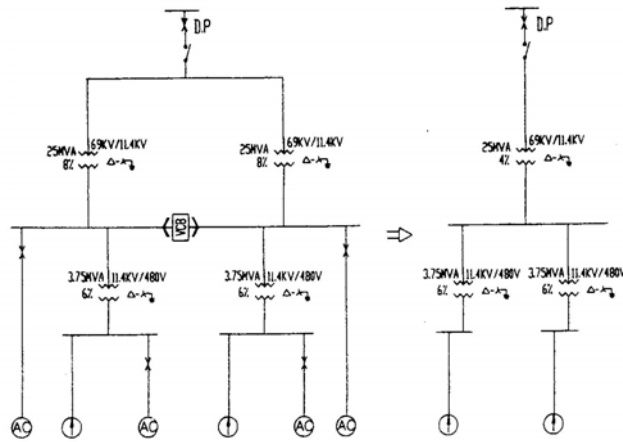


圖4.5 諧波檢討單線圖

### 4.3 分析

比較投入 16 套時未採用相移操作與採用相移操作後諧波電流含率如圖 4.6 所示，可發現利用相移操作確實有效地抑制諧波並將五次諧波電流由不合格的 5.448% 拉回 0.272%；THD 也由不合格的 6.66% 拉回 1.793%，均能符合台電抑制表的標準值，改善得相當不錯。

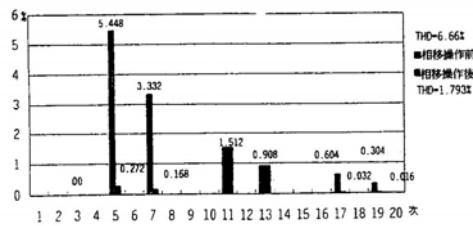


圖4.6 16套 CRYSTAL PULLER & MAGNET 相移操作前後 D.P點諧波電流含率比較圖

當投入 40 套時，未採用相移操作與採用相移操作後諧波電流含率如圖 4.7 所示，可發現利用相移操作確實有效地將不合格的五次諧波失真由 13.624% 拉回 0.68%；不合格的七次諧波電流由 8.324% 拉回 0.416%；不合格的十七次諧波電

流也由 1.512% 拉回 0.076%；THD 也由不合格的 16.651% 降至 4.486%。可惜的是 11 次諧波電流 3.784%；13 次諧波電流 2.272% 仍然不合格；THD 4.486% 還是未合乎抑制表的 4% 以內，送台電審核顯然無法過關。

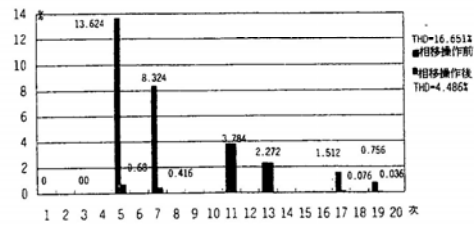


圖4.7 40套 CRYSTAL PULLER & MAGNET 相移操作前後 D.P點諧波電流含率比較圖

讀者至此不禁要問到，相移操作並無法解決諧波問題啊？沒有錯，相移操作在對不是很大量諧波負載時，確實可輕易抑制諧波使合乎台電的標準；其檢討方式筆者已計算在 4.2.1~4.2.4 節。但對極大量諧波負載，似乎對 11、13 次各別諧波電流不合格時仍束手無策且對 THD 的抑制也有問題。事實上 11、13 次諧波本身並無主諧波 5、7 次那麼大，在而圖 4.1 11.4KV BUS 上

掛有兩組 2400KVAR 的進相電容器，在其前端串上了抑制突波電流的 6% 電抗器，正好形成一組抑制 4.08 次諧波電流的單調式濾波器。這組濾波器提供給 4.08 次以上各次諧波電流的分流，因此 11、13 次會有部分被吸了進去。又本規劃系統還有相當重的交流負載，在作諧波檢討時均被省略，事實上這些 AC 負載饋線也提供各次諧波電流非常少量的分流，故實際上責任分界點上各次諧波電流非常少量的分流，故實際上責任分界點上各次諧波電流含率應會比 4.2.1~4.2.4 節模擬結果更低。筆者曾經利用自行開發的軟體算過，加入這兩組 2400KVAR 之濾波器後，11 次與 13 次只剩下 1.2% 與 0.85%，THD = 3.4% 均合乎標準。

### 伍、模擬程式簡述

本文所有模擬數據是由筆者費時兩年開發出程式實行的結果。共分成三部分：第一部分為諧波改善前檢測，主要針對諧波負載產生 2-50 次諧波電流進行責任分界點諧波污染檢測以確定那幾次諧波電流不合台電標準。第二部份為諧波教學，人性化的視窗界面將引導工程人員建立諧波背景與知識。第三部分為濾波器的自動設計及投入後改善之結果，其內鏈結一個非常重要的核心程式，可自動分析系統並進而設計出濾波器。圖 5.1 與圖 5.2 為部份模擬情形。

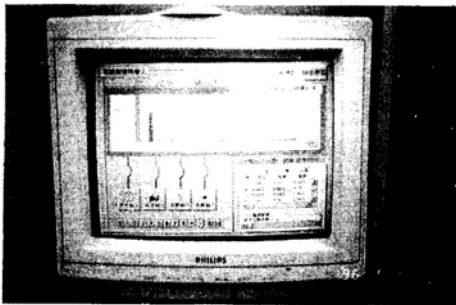


圖 5.1

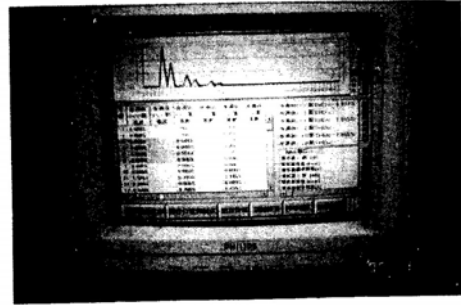


圖 5.2

### 陸、結 論

濾波器的設計是件相當困難的事，不是串 6%、7% 電抗就能解決，電容器的耐壓、電抗器的耐流都要經過計算，否則國內愈來愈多串 6% 電抗的電容器將難逃在諧波系統中被炸掉的事實。本文介紹相移操作是在 1981 年發展出來的技術，國外電機工程師為了避開數百萬元之濾波器設計往往採取這種技巧，在國內的應用仍是少數。但筆者要特別強調一點：相移操作只對 6 pulse 電力整流器產生諧波有效，對於電弧爐、變頻機諧波負載並無抵消 5, 9, 17, 19……次諧波的功能。目前打算利用諧波分析儀去量測相移操作前後 D.P 點的諧波電流含率，以印證模擬結果。

### 柒、參考文獻

- 1.L. Gyugyi and E.R. Taylor. "Characteristics of Static, Thyristor-Controlled Shunt Compensators for Power System Applications," IEEE Trans, Vol. PAS-99, No.5, SEPT/OCT 1980, pp. 1975-1804.
- 2.Allan Ludbrook, B. SC., P. Engo., "Rectifier Harmonics in Small Power Systems,"