

一個串 6%電抗器功因改善電容器組 引起的諧波案例探討

經濟部標準檢驗局 台南分局 技正林昆平

一、前言

諧波問題儼然成為台灣供電品質一大挑戰，除了對國內電容器製造廠商造成衝擊外；學界、台電、工業界均投入不少人力。許多的文章及研討會一再熱烈討論及舉辦，但多著墨於諧波概念性的認知，對於實務上參與諧波負載供電系統設計人員，可說助益不大。況且這些從業人員均是站在諧波預防的第一線，如果無法事先防堵，待整個供電系統設計規劃發包完工後，才產生諸如電容器燒毀引起火災、全廠停電、臨近工廠不明原因跳電等嚴重諧波事故，再要亡羊補牢，已造成業主嚴重損失。除了功因改善電容器組拆除，徒增設備浪費外；緊接著數百萬元乃至上千萬元的諧波改善工程，更加重業主的負擔。筆者要強調的是整個諧波問題重點在事前的分析預防及解決程序的建立，而不在太多描述與猜測的行為模式。本文把重點放在案例最常發生的低壓配電系統，文中以一工業界常用串 6%電抗器功因改善電容器組設計案例，所衍生的諧波事故，帶領讀者逐一建立起抑制諧波分析技巧。同時也將對濾波器的分組、規格品選定、及負載變動下的自動功因調整器 APFR 應用效應，進行解析。相信對國內電容器製造業者，設計規劃單位有所助益。

二、案例

某工廠為了擴廠，今年初特別請某設計單位增設 MPA 盤，該盤擁有六台諧波負載共 2150KVA；如圖 2.1 所示。由於是 6pulse 電力整流器驅動，設計單位在考慮諧波及功因改善問題，特別加了價值約 150 萬元的六套串 6%電抗器功因改善電容器組；經諧波檢討，符合台電諧波管制標準；功因亦可達 95%以上。該盤設定 3/5 載運轉後，卻產生回路電線極度發燙情形，產品則有瑕疵，機台甚有當機現像；更槽的是功因掉到 0.52 並未如預期改善至 0.95，幾個月來，遭台電罰款，引起業主相當的關心並在變壓器二次側進行諧波及功因量測，量測結果諧波如表 2.1 所示。可明顯發現 5 次 21%、11 次諧波 8.24%及 THD 25.2%，均明顯偏高。電容器切離下，功因量測顯示電壓 420V、電流 2192A、功因只有 0.52，既然台電審核已通過，何以產生如此嚴重的問題。底下我們將進行分析，以期找出問題發生的原因並在第四節進行一連串評估改善方案，以期找出最經濟的解決方式。

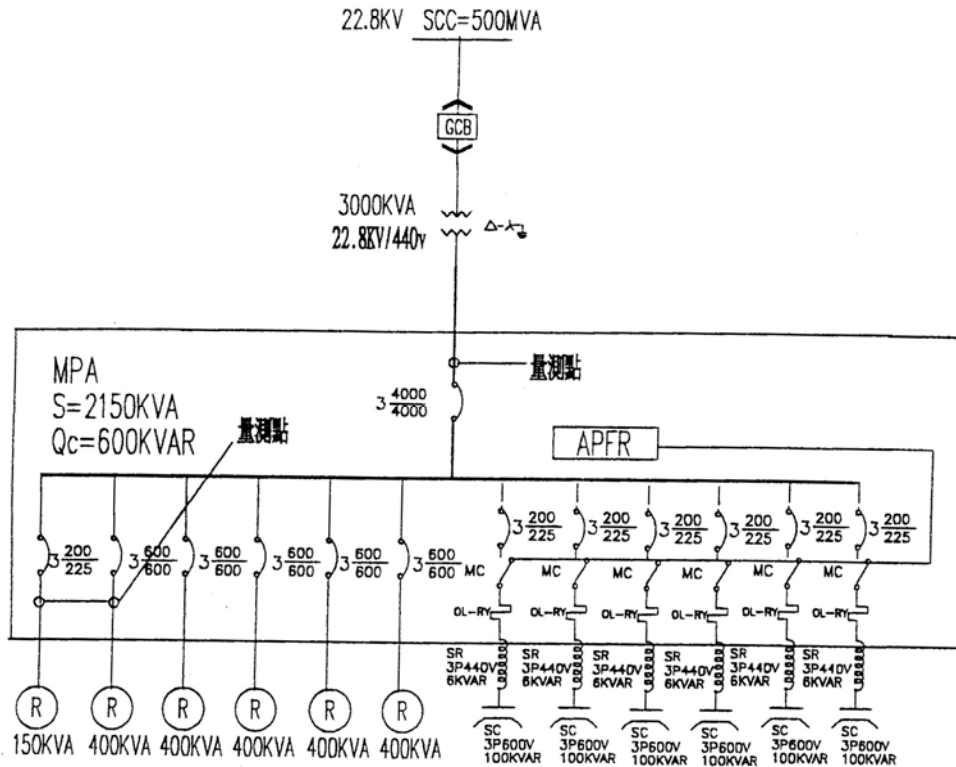
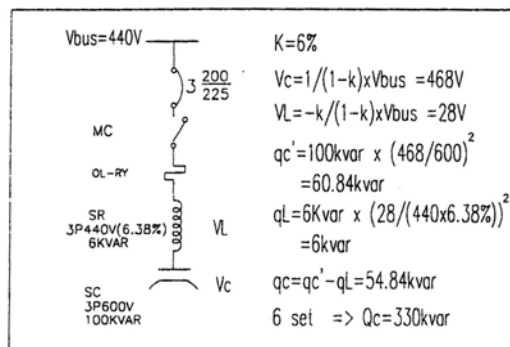


圖 2.1 增設回路系統圖

表 2.1 諧波量測(a)6set sc on (b)6 set off

(a)29MAR99 14:37 M1.A1					(b)29MAR99 14:37 M1.A1				
K: 25.20 %					K: 24.54 %				
v: 01	100.0%	2.372	A		v: 01	100.0%	3.654	A	
v: 02	0.71%	0.017	A		v: 02	0.44%	0.016	A	
v: 03	0.84%	0.067	A		v: 03	1.04%	0.038	A	
v: 04	0.31%	0.007	A		v: 04	0.17%	0.006	A	
v: 05	21.00%	0.498	A		v: 05	21.54%	0.787	A	
v: 06	0.22%	0.005	A		v: 06	0.20%	0.007	A	
v: 07	8.61%	0.204	A		v: 07	8.68%	0.317	A	
v: 08	0.29%	0.007	A		v: 08	0.21%	0.008	A	
v: 09	0.24%	0.006	A		v: 09	0.12%	0.004	A	
v: 10	0.29%	0.007	A		v: 10	0.17%	0.006	A	
v: 11	8.24%	0.196	A		v: 11	6.96%	0.254	A	
v: 12	0.47%	0.011	A		v: 12	0.20%	0.007	A	
v: 13	5.42%	0.129	A		v: 13	4.76%	0.174	A	
v: 14	0.24%	0.006	A		v: 14	0.18%	0.006	A	
v: 15	0.07%	0.002	A		v: 15	0.06%	0.002	A	
v: 16	0.22%	0.005	A		v: 16	0.14%	0.005	A	
v: 17	4.93%	0.117	A		v: 17	3.78%	0.138	A	
v: 18	0.38%	0.009	A		v: 18	0.15%	0.006	A	
v: 19	3.44%	0.082	A		v: 19	2.73%	0.100	A	
v: 20	0.27%	0.006	A		v: 20	0.19%	0.007	A	
v: 21	0.15%	0.003	A		v: 21	0.04%	0.001	A	
v: 22	0.20%	0.005	A		v: 22	0.13%	0.005	A	
v: 23	2.95%	0.070	A		v: 23	1.91%	0.070	A	
v: 24	0.35%	0.008	A		v: 24	0.13%	0.005	A	
v: 25	2.11%	0.050	A		v: 25	1.50%	0.055	A	

表 2.2 本工程使用電容器 6% 電抗器模組



三、事故探討與解析

3.1 MPA 盤操作在 3/5 載下，功因改善探討

3.1.1 查閱送審計算書計算如下

總容量共 $S=2150\text{KVA}$

功因 $\text{PF}_1=0.8$, $\theta_1=36.8^\circ$

實功 $P=2150 \times 0.8 \times (3/5)=1032\text{KW}$

欲改善功因至 $\text{PF}_2=0.95$, $\theta_2=18.2^\circ$

虛功補償 $Q_c'=1032 \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)=432\text{kvar}$

另 3ϕ 3000KVA 變壓器, $Z\%=3\%$

虛功補償 $Q_{tr}=3000 \times 0.03 \times (3/5)=54\text{kvar}$

所以 MPA 盤虛功補償量共 $432\text{kvar}+54\text{kvar}=486\text{kvar}$

取 3ϕ 100kvar 電容器六套共 600kvar , 足以改善功因至 0.95 以上

3.1.2 由量測值計算如下

量測值: $V=420\text{V}$, $I=2192$, $\text{PF}_1=0.52$, $\theta_1=58.7^\circ$ at $3/5$ 載

計算 $S=\sqrt{3} \times 420 \times 2192=1595\text{kvar}$

計算 $P=1595 \times 0.52=829\text{kw}$

欲改善功因至 $\text{PF}_2=0.95$, $\theta_2=18.2^\circ$

虛功補償 $Q_c'=829 \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)=1091\text{kvar}$

另 3ϕ 3000KVA 變壓器, $Z\%=3\%$

虛功補償 $Q_{tr}=3000 \times 0.03 \times (3/5)=54\text{kvar}$

所以 MPA 盤操作在 $3/5$ 載下, 虛功補償量共 $1091\text{kvar}+54\text{kvar}=1145\text{kvar}$

取 3ϕ 電容器總容量 1254kvar , 足以改善功因至 0.97 。

3.1.3 評論與分析

計算書上 MPA 盤虛功補償量為 600kvar , 量測顯示需 1145kvar , 才足以將功因提升至 0.95 , 足足少了 545kvar , 事實上不只少了 545kvar , 而是少了 815kvar , 這話怎講? 考慮此工程 3ϕ 100kvar 電容器串 6% 電抗器模組如表 2.2 所示, 為了抗拒諧波所造成的增壓效應, 特別將電容器耐壓提升到 600V , 但因整個模組是掛在 440V 匯流排上, 反而造成電容器總虛功量由 600kvar 下降至 330kvar 。因此該設計單位犯了兩個極嚴重的錯誤。一、 6 Pluse 電力整流器的功因並不是一般工程人員常用的 0.8 , 而是由電力整流器的激發角和重疊角來決定, 可參考 IEEE Std 519-1992[2], 有詳盡的計算及說明。如果讀者真不知取何數據來作功因改善計算, 取 0.55 左右是比較保險的作法。二、為了提升電容器、電抗器元件耐壓以抗衡諧波時, 需注意電容器虛功量除了與其端電壓平方成正比外, 串 6% 電抗器還會造成電容器端電壓的浮升, 但不管如何, 減少的虛功量一定要再修正回來, 可參考表 2.2 的計算方式。因此在碰上含有低壓諧波負載的電力規劃時, 一定要具備這兩種觀念; 否則設計錯誤, 再要進行補救, 已為時晚矣。

3.2 諧波計算探討

3.2.1 查閱送審計算

該盤諧波計算分析並未附上原廠諧波負載所產生各次諧波電流的量測資料, 亦未有證明文件只計算約四頁, 結論是各次諧波失真均符合抑制標準。台電審核章也是蓋了, 沒什麼問題。但是表 2.1 量測結果顯示 5 次諧波 21% 11 次諧波 8.24% THD 25.2% 均

不合格，除了電線回路極度發燙外，機台時有當機現象，恐影響產品的競爭力，底下我們根據量測資料，進行解析。

3.2.2 依量測資料計算

3.2.2.1 基本資料描述

(1)供電壓 $V_1=22.8$ KV，基準容量 $S_b=10$ MVA，主變壓器容量 $ST=3000$ KVA

(2)台電公司提供責任分界點電源短路容量 $SCC=500$ MVA

因此短路電流 $I_{sc}=(500 \times 1000)/(\sqrt{3} \times 22.8)=12661$ A

(3)本工程為 [新設/增設] 工程，負載電流取主變壓器一次側或電源側額定

電流 $I_L=76$ A

(4) $I_{sc}/I_L=12661/76=166$ 應查[諧波管制暫行標準審核表]

第 #4 列 限制值作為審核依據，該審核表描述如下：

台電公司諧波管制暫行標準 (81 年 11 月 26 日暫定/82 年 6 月 4 日修訂)

諧波電流失真率(%) 限制值							備註
I_{sc}/I_L	各次諧波限制值 (奇次諧波)					綜合諧波 THD%	
	<11	$11 \leq N < 17$	$17 \leq N < 23$	$23 \leq N < 35$	$35 \leq N$		
#1 <20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0	註：a.偶次諧波為上述限制值之 25% b.自備發電設備用戶，一律採用 I_{sc}/I_L 小於 20 之列的限制值為標準 c. $I_L(rms)$ ：對既設用戶取 12 個月 最大負載電流平均值 對新設或增設用戶，取主變壓器 一次側額定電流值 d.若供電系統為 34.5 ~161 KV 則為上述限制值之 50%
#2 20~50	7.0	3.5	2.5	2.5	0.5	8.0	
#3 50~100	10.0	4.5	4.0	4.0	0.7	12.0	
#4 100~1000	12.0	5.5	5.0	5.0	1.0	15.0	
#5 >1000	15.0	7.0	6.0	6.0	1.4	20.0	

(5)MPA 盤實際操作在 3/5 載時，TR 3000KVA 二次測量測負載電流為

$I_{L1}=2192$ A 並到 22.8kv 側，換算 PU 值為 $I_{L1pu}=0.16pu$

3.2.2.2 相關用電資料

(1)電源阻抗 X_s 之 PU 值 換算

最小短路容量=500 MVA，系統基容量=10 MVA

$X_s=(1 \text{ PU}) \times (10 \text{ MVA})/(500 \text{ MVA})=j0.0200 \text{ PU}$

(2)變壓器阻抗 X_t 之 PU 值 換算

PHASE=3 ϕ ，變壓器容量=3000 KVA，個數=1 具，淨容量=3000 KVA

系統基準容量=10 MVA，查表知阻抗為： $j0.07500 \text{ PU}$

$X_t=0.0750 \text{ PU} \times (10 \text{ MVA} \times 1000)/(3000 \text{ KVA})=j0.2500 \text{ PU}$

(3)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：DC400 3/5 Load， 容量：400.0 KVA，台數：5 注入處電壓：0.42 KV		[NO.2]設備名稱:DC150 3/5 Load， 容量：150.0 KVA,台數:1 注入處電壓：0.42 KV	
諧波次	諧波電流 Ih(A)	諧波次	諧波電流 Ih(A)
3.0	2.31 A	3.0	1.53 A
5.0	102.35 A	5.0	40.66 A
7.0	45.84 A	7.0	16.64 A
9.0	2.08 A	9.0	1.20 A
11.0	38.60 A	11.0	14.15 A
13.0	25.12 A	13.0	9.97 A
15.0	2.09 A	15.0	1.20 A
17.0	22.30 A	17.0	7.88 A
19.0	16.05 A	19.0	6.91 A
21.0	2.09 A	21.0	1.10 A
23.0	14.70 A	23.0	5.04 A
25.0	10.90 A	25.0	5.15 A
上述諧波電流為 AMP 值,轉換 PU 需除上 (10x1000)/(√3 x0.42KV)也就是乘上 0.000073 故 並入系統之諧波電流 PU 值如下:		上述諧波電流為 AMP 值,轉換 PU 需除上 (10x1000)/(√3 x0.42KV)也就是乘上 0.000073 故 並入系統之諧波電流 PU 值如下:	
諧波次	諧波電流 Ih(A)	諧波次	諧波電流 Ih(A)
3.0	0.00017 PU	3.0	0.00011 PU
5.0	0.00745 PU	5.0	0.00296 PU
7.0	0.00333 PU	7.0	0.00121 PU
9.0	0.00015 PU	9.0	0.00009 PU
11.0	0.00281 PU	11.0	0.00103 PU
13.0	0.00183 PU	13.0	0.00073 PU
15.0	0.00015 PU	15.0	0.00009 PU
17.0	0.00162 PU	17.0	0.00057 PU
19.0	0.00117 PU	19.0	0.00050 PU
21.0	0.00015 PU	21.0	0.00008 PU
23.0	0.00107 PU	23.0	0.00037 PU
25.0	0.00079 PU	25.0	0.00037 PU

(4)串 6%電抗之電容器投入後與系統產生的諧振點

$$n_{sys} = \sqrt{X_c / (X_s + X_t + X_L)}$$

註：Xc：電容器阻抗 XL：電抗器阻抗

3.2.2.3 諧波分析

Case1 六套串 6%電抗之電容器組全部切離 將 3.2.2.2 中(3)內各諧波源之(PU 值 × 台數)·再對應相同次數相加，得[前欄數值]，又 D.P 點基波負載電流 IL1pu=0.16 PU，除此值得 DP 點諧波失真率如[後欄數值]：					Case2 六套串 6%電抗之電容器組全部投入 實質虛功補償量 Qc= 330KVAR，可求出等效容抗值 Xceq 及電抗值 XLeq=0.06*Xceq，再利用分流定理求得 DP 點諧波失真率 $Dm=I_{hx}(X_{ceqh}-0.06X_{Leqh})/(X_{sh}+X_{th}-(X_{ceqh}-0.06X_{Leqh}))/IL1$				
除以 IL1(PV 值)					6%電抗串電容器				
次	電流值	次	失真率(Dm%)	標準抑制值	次	投入前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值
3.0	0.00095 PU	3.0	0.5960 %	12.00 %	3.0	0.59600 %	3.0	0.7059 %	12.00 %
5.0	0.04018 PU	* 5.0	25.1780 %	12.00 %	5.0	25.17800 %	* 5.0	18.0391 %	12.00 %
7.0	0.01788 PU	7.0	11.2050 %	12.00 %	7.0	11.20500 %	7.0	9.3354 %	12.00 %
9.0	0.00084 PU	9.0	0.5290 %	12.00 %	9.0	0.52900 %	9.0	0.4535 %	12.00 %
11.0	0.01507 PU	*11.0	9.4420 %	5.50 %	11.0	9.44200 %	*11.0	8.1867 %	5.50 %
13.0	0.00986 PU	*13.0	6.1790 %	5.50 %	13.0	6.17900 %	13.0	5.3886 %	5.50 %
15.0	0.00085 PU	15.0	0.5310 %	5.50 %	15.0	0.53100 %	15.0	0.4646 %	5.50 %
17.0	0.00868 PU	*17.0	5.4410 %	5.00 %	17.0	5.44100 %	17.0	4.7715 %	5.00 %
19.0	0.00634 PU	19.0	3.9730 %	5.00 %	19.0	3.97300 %	19.0	3.4893 %	5.00 %
21.0	0.00084 PU	21.0	0.5260 %	5.00 %	21.0	0.52600 %	21.0	0.4624 %	5.00 %
23.0	0.00571 PU	*23.0	3.5800 %	2.00 %	23.0	3.58000 %	*23.0	3.1499 %	2.00 %
25.0	0.00434 PU	*25.0	2.7190 %	2.00 %	25.0	2.71900 %	*25.0	2.3938 %	2.00 %
THDi = $\sqrt{\sum (Dm \times Dm)}$ = 30.990 %					THDi = $\sqrt{\sum (Dm \times Dm)}$ = 23.782 %				
註：* 表示不合格					註：* 表示不合格				
評論與分析					系統諧振點:3.84 次				
以量測諧波源資料進行 DP 點諧波失真計算結果與表 2.1(b)量測資料進行比對，可發現預估的 5,11,13,17,23,25 次為諧波不合格及 THDi 失真均大於量測值。這顯示一個訊息，同類的諧波負載各次諧波電流，只量取一台後乘於台數再對應相加不同類的諧波負載之各次諧波電流的計算結果，顯示是最壞的考量。對於將來抑制上，反而是更嚴酷的要求，因此分析計算時，未考慮各次諧波電流的相角，並無不妥。何況預測結果與量測數據差距不致太離譜，計算的方式，是有其參考的價值。					等效電容器及電抗器 耐壓,耐流,資料分析如下:				
					其中 Vcbus= 0.420KV, D.P 點 Vs=22.8 KV				
					流往 C,L → I3.0=-2.4065A, 流往 D.P 點 Is 3.0= 0.570A				
					流往 C,L → I5.0=157.0426A, 流往 D.P 點 Is 5.0=14.566A				
					流往 C,L → I7.0=41.0845A, 流往 D.P 點 Is 7.0= 7.543A				
					流往 C,L → I9.0=1.6584A, 流往 D.P 點 Is 9.0= 0.366A				
					流往 C,L → I11.0=27.5757A, 流往 D.P 點 Is11.0= 6.616A				
					流往 C,L → I13.0=17.3631A, 流往 D.P 點 Is13.0= 4.355A				
					流往 C,L → I15.0=1.4575A, 流往 D.P 點 Is15.0= 0.376A				
					流往 C,L → I17.0=14.7068A, 流往 D.P 點 Is17.0= 3.856A				
					流往 C,L → I19.0=10.6251A, 流往 D.P 點 Is19.0= 2.820A				
					流往 C,L → I21.0=1.3959A, 流往 D.P 點 Is21.0= 0.374A				
					流往 C,L → I23.0=9.4466A, 流往 D.P 點 Is23.0= 2.546A				
					流往 C,L → I25.0=7.1433A, 流往 D.P 點 Is25.0= 1.935A				
					流往電容器及電抗器端等效電流為 $\sqrt{sqr(I_{11}) + \sum sqr(I_h)} = 501A$				
					電容器端等效電壓為 $\sqrt{sqr(I_{11} \times X_{c1}) + \sum sqr(I_h \times X_{ch})} = 0.448KV$				
					因此				
					每週路電容值 $C=(1/4) \times C_{eq}=737.4252 \text{ uf}$,				
					耐線電壓: $0.448V \times 1.1=0.4929KV$,				
					每週路電感值 $L=(4) \times L_{eq}=0.5725 \text{ mh}$,				
					耐線電流: $(501/6) \times 1.3=108.6A$				
					評論與分析				
					諧波失真計算結果與表 2.1(a)量測資料進行比對,可發現量測中 5,11,23,25				
					次諧波為不合格而預估結果也是 5,11,23,25 次諧波不合格; THDi 分別為 25.2%				
					與 23.782%相當接近;投入前,投入後改善了 13,17 次諧波使其合格,THDi 由投				
					入前 24.54%改善至 23.782%;對改善結果幾乎沒作用。這顯示一個訊息,由於電				
					容器串 6%電抗模組設計錯誤,加上虛功補償量不足,連帶影響到諧波的抑制。				

Case3 六套串 6%電抗之電容器組引入 APFR

將 Qc 分成 6 迴路,分別計算投入 1 迴路...6 迴路

即 $(330\text{Kvar}/6) \times m$, $m=1,2,3,4,5,6$ 以求出每次投入時之等效容抗值 X_{ceq} 及電抗值 $X_{Leq}=0.06 \times X_{ceq}$ 再利用分流定理求得 DP 點諧波失真率

$$Dm=1/\sqrt{X_{ceqh}-0.06X_{Leqh}}/(X_{sh}+X_{th}-(X_{ceqh}-0.06X_{Leqh}))/IL$$

■[投入 1 迴路], m=1					■[投入 2 迴路], m=2				
6%電抗串電容器					6%電抗串電容器				
次	投入前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值	次	投入前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值
3.0	0.59600 %	3.0	0.6119 %	12.00 %	3.0	0.59600 %	3.0	0.6286 %	12.00 %
5.0	25.17800 %	* 5.0	23.6201 %	12.00 %	5.0	25.17800 %	* 5.0	22.2437 %	12.00 %
7.0	11.20500 %	7.0	10.8431 %	12.00 %	7.0	11.20500 %	7.0	10.5038 %	12.00 %
9.0	0.52900 %	9.0	0.5147 %	12.00 %	9.0	0.52900 %	9.0	0.5012 %	12.00 %
11.0	9.44200 %	*11.0	9.2067 %	5.50 %	11.0	9.44200 %	*11.0	8.9829 %	5.50 %
13.0	6.17900 %	*13.0	6.0315 %	5.50 %	13.0	6.17900 %	*13.0	5.8910 %	5.50 %
15.0	0.53100 %	15.0	0.5187 %	5.50 %	15.0	0.53100 %	15.0	0.5069 %	5.50 %
17.0	5.44100 %	*17.0	5.3167 %	5.00 %	17.0	5.44100 %	*17.0	5.1979 %	5.00 %
19.0	3.97300 %	19.0	3.8833 %	5.00 %	19.0	3.97300 %	19.0	3.7975 %	5.00 %
21.0	0.52600 %	21.0	0.5142 %	5.00 %	21.0	0.52600 %	21.0	0.5030 %	5.00 %
23.0	3.58000 %	*23.0	3.5003 %	2.00 %	23.0	3.58000 %	*23.0	3.4242 %	2.00 %
25.0	2.71900 %	*25.0	2.6588 %	2.00 %	25.0	2.71900 %	*25.0	2.6012 %	2.00 %
THDi = $\sqrt{\sum (Dm \times Dm)} = 29.443 \%$					THDi = $\sqrt{\sum (Dm \times Dm)} = 28.067 \%$				
系統諧振點: 3.05 次					註: * 表示不合格 系統諧振點: 3.45 次				

■[投入 3 迴路], m=3					■[投入 4 迴路], m=4				
6%電抗串電容器					6%電抗串電容器				
次	投入前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值	次	投入前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值
3.0	0.59600 %	3.0	0.6463 %	12.00 %	3.0	0.59600 %	3.0	0.6650 %	12.00 %
5.0	25.17800 %	* 5.0	21.0189 %	12.00 %	5.0	25.17800 %	* 5.0	19.9220 %	12.00 %
7.0	11.20500 %	7.0	10.1851 %	12.00 %	7.0	11.20500 %	7.0	9.8852 %	12.00 %
9.0	0.52900 %	9.0	0.4884 %	12.00 %	9.0	0.52900 %	9.0	0.4762 %	12.00 %
11.0	9.44200 %	*11.0	8.7697 %	5.50 %	11.0	9.44200 %	*11.0	8.5663 %	5.50 %
13.0	6.17900 %	*13.0	5.7568 %	5.50 %	13.0	6.17900 %	*13.0	5.6286 %	5.50 %
15.0	0.53100 %	15.0	0.4956 %	5.50 %	15.0	0.53100 %	15.0	0.4848 %	5.50 %
17.0	5.44100 %	*17.0	5.0843 %	5.00 %	17.0	5.44100 %	17.0	4.9756 %	5.00 %
19.0	3.97300 %	19.0	3.7155 %	5.00 %	19.0	3.97300 %	19.0	3.6369 %	5.00 %
21.0	0.52600 %	21.0	0.4922 %	5.00 %	21.0	0.52600 %	21.0	0.4819 %	5.00 %
23.0	3.58000 %	*23.0	3.3512 %	2.00 %	23.0	3.58000 %	*23.0	3.2813 %	2.00 %
25.0	2.71900 %	*25.0	2.5461 %	2.00 %	25.0	2.71900 %	*25.0	2.4932 %	2.00 %
THDi = $\sqrt{\sum (Dm \times Dm)} = 26.833 \%$					THDi = $\sqrt{\sum (Dm \times Dm)} = 25.719 \%$				
系統諧振點: 3.63 次					系統諧振點: 3.73 次				

■[投入 5 迴路]，m=5					■[投入 6 迴路]，m=6				
6%電抗串電容器					6%電抗串電容器				
次	投入前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值	次	投入前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值
3.0	0.59600 %	3.0	0.6848 %	12.00 %	3.0	0.59600 %	3.0	0.7059 %	12.00 %
5.0	25.17800 %	* 5.0	18.9338 %	12.00 %	5.0	25.17800 %	* 5.0	18.0391 %	12.00 %
7.0	11.20500 %	7.0	9.6024 %	12.00 %	7.0	11.20500 %	7.0	9.3354 %	12.00 %
9.0	0.52900 %	9.0	0.4646 %	12.00 %	9.0	0.52900 %	9.0	0.4535 %	12.00 %
11.0	9.44200 %	* 11.0	8.3722 %	5.50 %	11.0	9.44200 %	* 11.0	8.1867 %	5.50 %
13.0	6.17900 %	* 13.0	5.5060 %	5.50 %	13.0	6.17900 %	* 13.0	5.3886 %	5.50 %
15.0	0.53100 %	15.0	0.4745 %	5.50 %	15.0	0.53100 %	15.0	0.4646 %	5.50 %
17.0	5.44100 %	17.0	4.8714 %	5.00 %	17.0	5.44100 %	17.0	4.7715 %	5.00 %
19.0	3.97300 %	19.0	3.5616 %	5.00 %	19.0	3.97300 %	19.0	3.4893 %	5.00 %
21.0	0.52600 %	21.0	0.4720 %	5.00 %	21.0	0.52600 %	21.0	0.4624 %	5.00 %
23.0	3.58000 %	* 23.0	3.2143 %	2.00 %	23.0	3.58000 %	* 23.0	3.1499 %	2.00 %
25.0	2.71900 %	* 25.0	2.4425 %	2.00 %	25.0	2.71900 %	* 25.0	2.3938 %	2.00 %
THDi = $\sqrt{\Sigma (Dm \times Dm)}$ = 24.706 %					THDi = $\sqrt{\Sigma (Dm \times Dm)}$ = 23.782 %				
系統諧振點: 3.79 次					系統諧振點: 3.84 次				

評論與分析

投入一段至六段串 6%電抗器之電容器後諧波失真情形，如表 2.3 所示；可發現隨著電容虛功補償量的投入，各次不合格諧波失真，均明顯逐一下降，理由是串 6%電抗之電容器本身就是一組抑制 4.08 次以上的諧波濾波器，隨著各段投入容量的增加，對 5 次以上不合格諧波產生抑制作用。當六段全部投入時 13,17 次諧波已被改善至合格標準，可惜因總容量不夠，對其他不合格諧波幾乎沒有改善。表 2.3 還有一個有趣的現象，為什麼只有 3 次諧波，隨著段數的投入不減反被擴大呢？這是因為投入後產生的系統諧振點介於 3.05 次至 5 次，使得供電系統對 3 次諧波表現出電容效應而擴大諧波。

表 2.3 各段投入諧波失真

不合格諧波次	投入一段	投入二段	投入三段	投入四段	投入五段	投入六段
3	0.6199%	0.6286%	0.6463%	0.6650%	0.6848%	0.7059%
5	23.6200%	22.2437%	21.0189%	19.922%	18.9338%	18.0391%
11	9.2067%	8.9829%	8.7697%	8.5663%	8.3722%	8.1867%
13	6.0315%	5.8910%	5.7568%	5.6286%	5.5060%	5.3886%
17	5.3167%	5.1979%	5.0843%	4.9756%	4.8714%	4.7715%
23	3.5000%	3.4242%	3.3512%	3.2813%	3.2143%	3.1499%
25	2.6588%	2.6012%	2.5461%	2.4932%	2.4425%	2.3938%
系統諧振點	3.05次	3.45次	3.63次	3.73次	3.79次	3.84次

四、改善評估方案

[評估方案一]投入 1.254MVAR 之電容器充作高次諧波吸收器 $V_{bus}=420V, Q_c=1.254MVAR$ ，可改善功因至 0.97(詳 3.1.2 節)，依此求出等效容抗值 X_{ceq} ，再利用分流定理得 DP 點諧波失真率 $Dm=I_{hx}X_{ceqh}/(X_{sh}+X_{th}-X_{ceqh})/IL1$					[評估方案二]投入表 2.2 模組共 23 套 $V_{bus}=420V, Q_c=(330/6) \times 23=1254KVAR$ ，可改善功因至 0.97，依此求出等效容抗值 X_{ceq} 及電抗值 X_{leq} $=0.06 \times X_{ceq}$ ，再利用分流定理求得 DP 點失真率 $Dm=I_{hx}(X_{ceqh}-0.06X_{leqh})/(X_{sh}+X_{th}-(X_{ceqh}-0.06X_{leqh}))/IL1$				
6%電抗串電容器					6%電抗串電容器				
次	改善前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值	次	改善前失真率(%)	次	失真率(Dm%)	標準抑制值
3.0	0.59600 %	3.0	0.8714 %	12.00 %	3.0	0.59600 %	3.0	1.5198 %	12.00 %
5.0	25.17800 %	* 5.0	206.0393 %	12.00 %	5.0	25.17800 %	* 5.0	9.8912 %	12.00 %
7.0	11.20500 %	7.0	-15.5520 %	12.00 %	7.0	11.20500 %	7.0	6.2875 %	12.00 %
9.0	0.52900 %	9.0	-0.2869 %	12.00 %	9.0	0.52900 %	9.0	0.3206 %	12.00 %
11.0	9.44200 %	* 11.0	-2.9065 %	5.50 %	11.0	9.44200 %	* 11.0	5.9057 %	5.50 %
13.0	6.17900 %	13.0	-1.2523 %	5.50 %	13.0	6.17900 %	* 13.0	3.9286 %	5.50 %
15.0	0.53100 %	15.0	-0.0770 %	5.50 %	15.0	0.53100 %	15.0	0.3409 %	5.50 %
17.0	5.44100 %	17.0	-0.5948 %	5.00 %	17.0	5.44100 %	17.0	3.5149 %	5.00 %
19.0	3.97300 %	19.0	-0.3403 %	5.00 %	19.0	3.97300 %	19.0	2.5776 %	5.00 %
21.0	0.52600 %	21.0	-0.0363 %	5.00 %	21.0	0.52600 %	21.0	0.3423 %	5.00 %
23.0	3.58000 %	23.0	-0.0237 %	2.00 %	23.0	3.58000 %	* 23.0	2.3350 %	2.00 %
25.0	2.71900 %	25.0	-0.1298 %	2.00 %	25.0	2.71900 %	25.0	1.7765 %	2.00 %
THDi = $\sqrt{\sum (Dm \times Dm)} = 206.653 \%$					THDi = $\sqrt{\sum (Dm \times Dm)} = 14.860 \%$				
系統諧振點: 5.34 次					系統諧振點: 3.31 次				
評論與分析 投入電容器後, 5 次諧波太靠近系統諧振點 5.34 次, 而遭擴大; THDi 也由投入前的 24.54%, 擴大至 206.653%。已失去充作高次諧波吸收器的作用, 故本案不予以考慮。									

電容器、電抗器 耐壓、耐流、資料分析如下:

其中 $V_{bus} = 0.420KV$, D.P 點 $V_s = 22.8KV$ 流往 C,L → I 3.0 = 20.1971A, 流往 D.P 點 $I_s 3.0 = 1.226A$ 流往 C,L → I 5.0 = 335.8752A, 流往 D.P 點 $I_s 5.0 = 7.977A$ 流往 C,L → I 7.0 = 108.0048A, 流往 D.P 點 $I_s 7.0 = 5.078A$ 流往 C,L → I 9.0 = 4.5765A, 流往 D.P 點 $I_s 9.0 = 0.259A$ 流往 C,L → I 11.0 = 77.6569A, 流往 D.P 點 $I_s 11.0 = 4.771A$ 流往 C,L → I 13.0 = 49.4183A, 流往 D.P 點 $I_s 13.0 = 3.174A$ 流往 C,L → I 15.0 = 4.1746A, 流往 D.P 點 $I_s 15.0 = 0.275A$ 流往 C,L → I 17.0 = 42.2950A, 流往 D.P 點 $I_s 17.0 = 2.840A$ 流往 C,L → I 19.0 = 30.6422A, 流往 D.P 點 $I_s 19.0 = 2.082A$ 流往 C,L → I 21.0 = 4.0339A, 流往 D.P 點 $I_s 21.0 = 0.277A$ 流往 C,L → I 23.0 = 27.3386A, 流往 D.P 點 $I_s 23.0 = 1.887A$ 流往 C,L → I 25.0 = 20.6962A, 流往 D.P 點 $I_s 25.0 = 1.435A$ 1. 根據上述分析先計算等效 3 ϕ 電容器串 6% 電抗器相關資料:等效電容值 $C_{eq} = 16661.8235 \mu f$, $V_{cl} = 0.4468KV$, $I_{cl} = 1620.42A$ 等效電容器諧波增流 $\sqrt{\sum (I_{ch}) \times (I_{ch})} = 371.082A$ 等效電容器諧波增壓 $\sqrt{\sum (V_{ch})} = 0.0192KV$ 等效電容器耐線電壓 $\sqrt{(\sqrt{V_{cl}} + \sum \sqrt{V_{ch}})} \times 110\%$
 $= 0.4919KV$ 等效電容器耐線電流 $\sqrt{(\sqrt{I_{cl}} + \sum \sqrt{I_{ch}})} \times 130\%$
 $= 2161.08A$ 等效電感值 $L_{eq} = 0.0253mh$ at $V_{L1} = 0.0268KV$,
 $I_{L1} = 1620.42A$ 等效電抗器諧波增流 $\sqrt{\sum (I_{Lh})} = 371.082A$ 等效電抗器諧波增壓 $\sqrt{\sum (V_{Lh})} = 0.0420KV$ 等效電抗器耐線電壓 $\sqrt{(\sqrt{V_{L1}} + \sum \sqrt{V_{Lh}})} \times 110\%$
 $= 0.0548KV$ 等效電抗器耐線電流 $\sqrt{(\sqrt{I_{L1}} + \sum \sqrt{I_{Lh}})} \times 130\%$
 $= 2161.08A$ 2. 根據等效 3 ϕ 電容器串 6% 電抗器分析資料, 計算 23 套, 每回路資料電容值 $C = (1/23) \times C_{eq} = 724.4271 \mu f$, 電感值 $L = (23) \times L_{eq} = 0.5828mh$

電容器 耐線電壓: 0.4919KV, 電抗器 耐線電壓: 0.0548KV

電容器 耐線電流: 2161.08/23 = 93.96A

電抗器 耐線電流: 2161.08/23 = 93.96A

設計表 2.2 模組套數 = $(Q_c \div 54.88 \text{kvar}) + 1$ Only Suit For 440V BUS.

.....

首先在電容切離下，計算相移操作後的諧波電流 I_{hPM} 再除以 I_{L1} ，以計算 DP 點諧波失真如前欄。接著計算投入 1176kvar 虛功補償量之等效容抗值 X_{ceq} ，再利用分流定理求得 DP 點諧波失真率 $Dm = I_{hPM} \times X_{ceq} / (X_{sh} + X_{th} - X_{ceq}) / I_{L1}$

系統諧振點: 5.34 次



評論與分析

相移操作後 11,13,23,25 次諧波仍不合格，但改善了主諧波 5 及次諧波 17；當功因改善電容器組再投入後，又將 11,13,23,25 次諧波改善掉，很可惜由於 5 次諧波太靠近系統諧振點 5.34 次，被擴大至 34.4%，反而破壞了相移操作的成效。不過比起[評估方案一]未使用相移操作技術而擴大 206%。相移操作確有其成效在，當然由於 THDi 高達 34.4%，本案仍不予考慮。

[評估方案四]相移操作技術 [3] + 投入表 2.2 模組 23 套

如圖 4.2 所示。首先將 23 套模組切離下進行相移操作(Phase Multifunction)以抵消 5, 7, 17, 19, 31, 41, 43 次諧波的功能，抵消後每台將只剩下該次諧波電流的 5% (ref IEEE)；其它次諧波則無抵消功用，以計算相移操作後 DP 點諧波失真率 (IhPM/IL1) 如前欄所示。

接著計算投入表 2.2 模組 23 套，以求出等效容抗值 X_{ceq} 及電抗值 $X_{Leq} = 0.06 * X_{ceq}$ ，再利用分流定理求得 DP 點諧波失真率 $D_m = I_{hPM} * (X_{ceqh} - 0.06 * X_{Leqh}) / (X_{sh} + X_{th} - (X_{ceqh} - 0.06 * X_{Leqh})) / IL1$

次	IhPM/IL1(%)	次	6%電抗串電容器 失真率(Dm%)	標準抑制值
5.0	4.20600 %	* 5.0	1.6523 %	12.00 %
7.0	1.75800 %	7.0	0.9865 %	12.00 %
* 11.0	9.40300 %	* 11.0	5.8813 %	5.50 %
* 13.0	6.24700 %	13.0	3.9718 %	5.50 %
17.0	0.83700 %	17.0	0.5407 %	5.00 %
19.0	0.70200 %	19.0	0.4554 %	5.00 %
* 23.0	3.52200 %	* 23.0	2.2972 %	2.00 %
* 25.0	2.84800 %	25.0	1.8608 %	2.00 %

THDi = $\sqrt{\sum (D_m \times D_m)} = 7.992 \%$
系統諧振點: 3.31 次

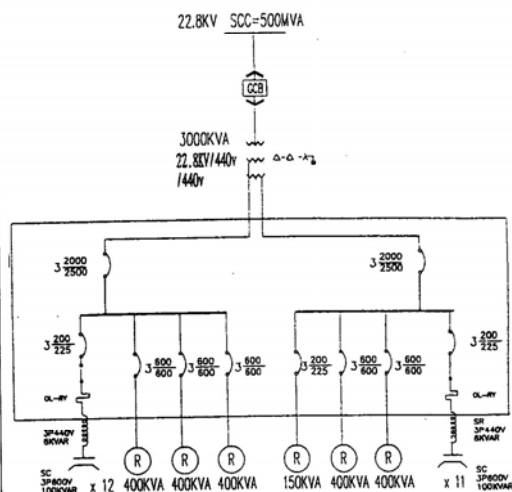


圖 4.2 三繞阻變壓器相移操作+23 套表 2.2 模組

評論與分析

相移操作後 11,13,23,25 次諧波仍不合格，但改善了主諧波 5 及次諧波 17；當表 2.2 模組投入後，又將 13,25 次諧波改善掉，很可惜 11,23 次諧波未能再改善，但已非常接近標準值。其 THDi 更是下降到只有 7.992%，比起[評估方案二]的 14.86%，幾乎改善了一半，況且主諧波 5 及 7 次諧波均比[評估方案二]抑制的更低。因此相移操作這個部份的加入，確有其成效。由於 APFR 無法驅動 23 段，況且經費高達七百萬元，本案不經濟又不實用，不予考慮。

[評估方案五]低壓系統濾波器設計 + APFR [4][5]

STEP1.將 3.2.2.2 中(3)內各諧波源之(PU 值 x 台數)，再對應相同次數相加後乘上 5/3，以便把各次等效諧波電流由 3/5 載，調整至滿載。虛功補償量亦需乘上 5/3，以較正回來。

故本案虛功補償量在滿載下校正值為 1908KVAR；取 2000KVAR 功因達 0.98 以上。

STEP2.設計抑制五次及七次諧波電流濾波器，其設計值分別為(Qf5,n5)、(Qf7,n7) 並引用表 4.1 理論，快速規劃問題如表 4.2。

STEP3.對表 4.2 進行求解(Qf5,n5)、(Qf7,n7)。有兩種方法可用來求解。

[方法一]嘗試錯誤猜解法。取 $n5=4.6, n7=6.44$

```
repeat
  Qf5=2000x(i/1000000), i=1..1000000;
  Qf7=2000-Qf5
  (Qf5, Qf7)帶入表 4.2 問題規劃
Until Find Solution
```

此法不一定可找到解，亦無法確定是最佳設計解。
筆者試過，本案用此法可找到。

[方法二]使用 S.U.M.T 數值分析法[4][5]。此法可將諧波抑制至最低，且是最佳設計。

STEP4.使用解出的設計值($Qf5, n5$)、($Qf7, n7$)，進行濾波器元件電容器及電抗器等效耐壓、耐流分析。分析方法如本節[評估方案二]所示。必需計算 I_{seqh} 、 I_{ceqh} 、 I_{Leqh} 、 V_{ceqh} 及 V_{Leqh} 五個重要數據，以求出電容器及電抗器之綜合耐壓、綜合耐流值。

STEP5.根據電容器及電抗器綜合耐流值進行分段，以便引入 APFR。分組原則採每段耐流值限制在 250A 以下。

STEP6.決定段數後，開始計算各段電容器及電抗器耐壓、耐流值。

STEP7.根據每段耐壓耐流值制訂電容器及電抗器規格。

電容器：電容值 C (已算出)、 V_c 取大於耐壓值、容量 Sc 需調整、

電抗器：電感值 L (已算出)、 I_{th} 取大於耐流值

STEP8.電容器耐壓 $V_c > V_{bus}$ ，考慮 3.1.3 節所言虛功補償量下降效應，調整電容器容量 Sc ，使其在 60HZ 與電抗器串接後，能表現出應有的虛功補償量。

STEP9.根據每段耐流值決定濾波器相關元件：NFB, FUSE, MC, OL-Ry, 及銅排粗細。

STEP10.繪製濾波器配電系統圖。

STEP11.進行[評估方案六]，以了解每段投入後，功因及諧波改善情形。

STEP12.接洽電容器、電抗器製造廠商及配電盤商，依設計圖進行施作。

表 4.1 LIN's 理論

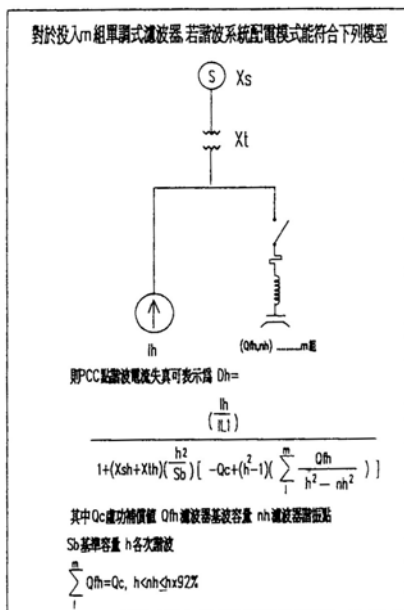


表 4.2 問題規劃

Program $THDi = \min \sqrt{\sum_{h=2}^{50} D_h^2}$ 求($Qf5, n5$) ($Qf7, n7$)

(一) 避開串聯共振點 (二) 虛功補償

$5 < n5 < 5 \times 0.92$ $Qf5 + Qf7 = Q_c$
 $7 < n7 < 7 \times 0.92$ $Qf5 > 0, Qf7 > 0$

(三) 限制超出抑制標準之諧波失真率

$D5 < 12\%$	$D17 < 5\%$
$D11 < 5.5\%$	$D23 < 2\%$
$D13 < 5.5\%$	$D25 < 2\%$

[評估方案六]在 0.4 載,0.5 載,0.6 載,0.7 載,0.8 載,0.9 載及滿載下討論各段濾波器投入時效應

(1) 0.4 載下 投入 4 段 抑制五次諧波濾波 器 QC=1024KVAR，功因達 0.975，諧波抑制如下：		(2) 0.5 載下 投入 4 段 抑制五次諧波濾波 器 QC=1024KVAR，功因達 0.975，諧波抑制如下：		(3) 0.6 載下 投入 6 段 抑制五次諧波濾波 器 QC=1536KVAR，功因達 0.995，諧波抑制如下：	
次	D.P 點電流失真	次	D.P 點電流失真	次	D.P 點電流失真
3	1.759%	3	1.759%	3	1.471%
5	4.940%	5	4.940%	5	3.692%
7	4.885%	7	4.885%	7	4.282%
9	0.401%	9	0.401%	9	0.233%
11	4.960%	11	4.960%	11	4.430%
13	3.585%	13	3.585%	13	2.984%
15	0.439%	15	0.439%	15	0.262%
17	2.900%	17	2.900%	17	2.701%
19	2.560%	19	2.560%	19	1.987%
21	0.409%	21	0.409%	21	0.265%
23	1.882%	23	1.882%	23	1.806%
25	1.929%	25	1.929%	25	1.377%
THDi=10.669%		THDi=10.669%		THDi= 9.000%	

(4) 0.7 載下 投入 6 段 抑制五次 諧 波 濾 波 器 QC=1536KVAR，功 因達 0.995，諧波抑 制如下：		(5)0.8 載下 投入 6 段 抑制五次諧波 濾波器(256KVARx 6) 投入 1 段抑制七次諧波 濾波器(233 KVAR x 1) QC=1769 KVAR，功因 達 0.9911，諧波抑制如 下：		(6)0.9 載下 投入 6 段 抑制五次諧波 濾波器(256KVARx 6) 投入 1 段抑制七次諧波 濾波器(233 KVAR x 1) QC=1769 KVAR，功因 達 0.9911，諧波抑制如 下：		(7)滿載下 投入 6 段 抑制五次諧波 濾波器(256KVARx 6) 投入 2 段抑制七次諧波 濾波器(233 KVAR x 2) QC=2000KVAR，功因 達 0.97，諧波抑制如 下：	
次	D.P 點電流失真	次	D.P 點電流失真	次	D.P 點電流失真	次	D.P 點電流失真
3	2.471%	3	3.031%	3	3.031%	3	3.919%
5	3.895%	5	4.144%	5	4.144%	5	4.427%
7	4.157%	7	2.487%	7	2.487%	7	1.775%
9	0.348%	9	0.280%	9	0.280%	9	0.234%
11	4.335%	11	3.635%	11	3.635%	11	3.130%
13	3.146%	13	2.683%	13	2.683%	13	2.339%
15	0.386%	15	0.332%	15	0.332%	15	0.291%
17	2.556%	17	2.210%	17	2.210%	17	1.947%
19	2.259%	19	1.960%	19	1.960%	19	1.731%
21	0.361%	21	0.314%	21	0.314%	21	0.278%
23	1.663%	23	1.449%	23	1.449%	23	1.283%
25	1.706%	25	1.488%	25	1.488%	25	1.319%
THDi= 9.314%		THDi= 8.225%		THDi= 8.225%		THDi= 8.052%	

評論與分析

滿載下設計的濾波器 #5filter 六套 及 #7filter 兩套，依然可以解決系統變動在 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 載下的功因及諧波問題，使其完全合格。因此在投入期間，安全絕對可靠，效果亦不差。APFR 則宜採用 12 段堆疊式 1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1，以應付未來擴充用，整個諧波抑制兼功因改善工程如圖 4.3 所示，經費約 275 萬元左右；也是最便宜既有效的方案。

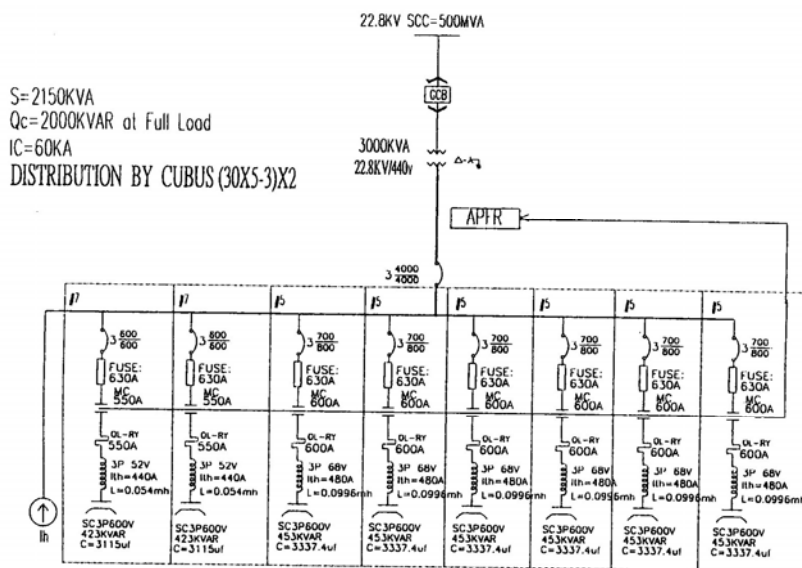


圖 4.3 諧波改善工程

五、對台電諧波管制政策之建言

5.1 應重視送審諧波源清單的真假

由上述 3.2.2.3 節改善前分析中，可發現諧波源清單，幾乎決定了該廠要不要投入改善諧波工程的命運。因此台電在接到送審計算書時，應立即斷定諧波源清單資料是否合理；平常則應多搜集各型整流器、電弧爐、變頻機各次諧波電流資料。

管制政策既然是台電推動，供需之間應共同負擔責任，因此應免費接受設計單位申請或提供設計單位簡便型諧波分析儀（至少可量 25 個諧波）以進行諧波量測包括諧波源各次諧波電流、責任分界點 D_h , THD_i ；諧波源同類者只需量取一台，不同類者各別量測，量測時間 30 分，每 5 分取樣一次（鎖定 R 相）並記錄在幾載狀況下量測到，以便依比例推算滿載時的諧波電流。

5.2 指導業主改善諧波程序

業主一聽到貴廠需改善諧波，常一頭霧水。接著是國外駐台的濾波器设计公司來了，開價不是七百萬就是壹千萬，那個業主不心寒，除了大廠資本雄厚，誰願意多花這筆錢呢？而事實上就算使用國外濾波器規格品，其抑制的效果能長久運轉保證諧波的抑制嗎？有些案例，廠方在裝設濾波器後，不到一年即毀損。因為國外製作的高壓濾波器其電抗器常有三個 tape，為了應付台電諧波管制，廠商常會將電感值調降至最低，以使濾波器的諧振點往上升，取得較好的諧波吸收率，但隨著濾波器運轉溫度上升及夏天、

冬季節不同，往往使諧振點產生漂移現象反而落在濾波器的串聯共振點上，燒毀濾波器。因此，判定需作諧波改善時，應立即通知區處檢驗股人員，前往向業主說明：

5.2.1 諧波是什麼？

5.2.2 諧波對貴廠有何影響？對臨廠又有何影響？

5.2.3 如何改善？改善後有何好處？（筆者建議）

- (1) 若該廠諧波負載由電力整流器構成，則鼓勵業主採用相移操作技術，這種技術只有濾波器設計費用的 1/5，很容易被業主接受，況且抑制效果不差。相移操作技術如何應用，如何設置，如何送審分析筆者已全部公開[3]。但該系統功因改善電容器投入時，應一併分析，以避免並聯共振現象破壞原先抑制效果，其分析方法如第四節[評估方案一]至[評估方案三]，若發現投入後放大諧波超出標準，需考慮串上 6%電抗器並分析電容耐壓及電抗器耐流資料送審。以上除了確保諧波抑制效果，也考慮功因改善電容器投入時之安全，對業主供電穩定，對台電管制諧波，兩得其美。
- (2) 如果使用的是 AC 電弧爐或大型變頻器則建議設計濾波器來改善，且濾波器本身需負責功因改善，送審時需繳交濾波器規格包括電容耐壓及電抗器耐流，諧振點，容量及投入前後改善分析結果。一來確保業主用電之安全，二來作為改善後與量測值之間的比對，了解其誤差產生的原因。

註：台電檢驗股人員由業務處統籌定期辦理諧波相關知識訓練

5.3 在低壓諧波系統使用 APFR 切換功因改善電容器時，應考量是否將電容器換成濾波器[6]

台電送審圖面，檢驗股常會要求使用 APFR 控制功因，但此舉若用在含有諧波負載的系統，有可能發生危險。假設電容器分成十段並引入 APFR 切換以調整功因，工廠一開工就依續產生 10 個系統諧振點，因此放大諧波的機率將增為十次。雖然不一定放大但不能不防。因此需計算每段投入時，是否有放大諧波超出抑制標準的現象發生，類似 [評估方案三]+3.2.2.3 Case3 分析方式：若沒有，則計算電容器耐壓值以選定規格品。若不幸有並聯共振現象發生時，應改以低壓濾波器設計，詳[評估方案五]+[評估方案六]。

5.4 諧波負載應專用迴路設計，不得與非諧波負載夾雜，其附屬設備亦然

應發函電機技師公會告知。筆者所學的理由為諧波負載與非諧波負載共用匯流排供電，將使諧波分析變得複雜，況且非諧波負載回路將受諧波電流分流而有跳脫現象，造成生產線上的不穩定，另一方面對於管制上，濾波器設計，電容器投入後的分析，均較容易處理，在審查上也較有條理。

5.5 量測時要注意那些事項？

- 5.5.1 選擇週日，臨近工廠停工狀態下，令該諧波廠起動負載：此限制，在於真正量到該廠對台電電源端的污染程度
- 5.5.2 由試驗所人員會同區處檢驗股人員前往：
試驗所人員要找到電錶箱 MOF 並不困難，量測亦為其專長，但對於現場所有設備擺設位置，錯縱複雜的線路，一個接一個的盤面，絕對沒有區處檢驗股人員熟，何況最後完成送電及檢驗現場亦為該員。因此最好有各區處檢驗股人員在場供詢問及監督整個量測及諧波負載出力狀況。
- 5.5.3 確定所有諧波負載已啟動，出力至少 50%：
一般契約容量約為設備負載的 60%，因此每台諧波負載至少出力 50%，才算真正啟動並不為過。
- 5.5.4 量測時間以 2 小時為限：
每五分取樣一次，既不勞民，也不傷財。

5.6 要不要加入背景值這項判斷？

許多諧波改善後的廠家，經量測沒過情況下，最常拿這一項來推卸責任，事實上諧波電壓背景值不佳，源自於當初沒好好管制，如今頒佈政策有點遲，除非台電從變電所出來的饋線上，逐一量測每家擁有諧波負載廠商 DP 點諧波電流污染率(前提：利用星期日令其開工，臨近工廠則停)，不合格者，限期改善。不過這種連舊帳都翻到抬面的舉動，會帶來抗爭，誰都曉得抑制諧波濾波器的設計動不動就是上百萬，上千萬元；因此台電應寄望於新饋線上嚴格執行，對於既設線路，筆者認為不用再考慮背景值了！因為它已是無法改變的事實，而且對廠家而言，尤其位於饋線末端，是相當不公平的。

5.7 取什麼樣的數據作為比對值？

應以諧波負載廠真正污染電源端的 D_h 及 THD 作為比對值，斷定其對台電供電品質傷害程度，也就是不包括諧波電壓背景產生流往廠內的諧波電流：量測時應利用星期日臨近工廠停工狀況下。

5.8 評判合格的標準在那裏？

評判的標準，IEEE 每四年就會有所更動，抑制表本身已爭議很久，筆者碰過一個案例，該廠恰在饋線末端，運算結果，需取第一列作為審核依據，結果是十三，十九次諧波過不了關，若該廠遷移到變電所附近，可放寬取第四列作為審核依，如此一來全部諧波均過關。因此筆者主張從務實的觀點出發，改善後，DP 點改善前各次諧波失真前三名及 THD 能過關且在功因改善元件投入後無並聯共振現象發生及造成臨近正常運轉工廠跳電事故已排除者，即可予以恢復供電。

5.9 對於工廠供電系統，目前只管制諧波電流，未來要不要管制諧波電壓？

許多投入上千萬元改善諧波案例，經量測還有部份諧波不合格，如果再加上諧波電壓管制，到底有幾家可以過關呢？況且諧波電壓本來就是諧波電流流過阻抗造成，沒有諧波電流就沒有諧波電壓，管制好諧波電流，諧波電壓自然會下降。筆者認為台電目前的政策是對的。

5.10 改善前後諧波分析均應加入虛功補償元件投入的效應

功因電容器投入對 DP 點諧波失真一定會有影響，這是不容置疑的；如上述第四節[評估方案一]，THD 被放大至 206%，但加入電容器一定有害無益，此論點亦不正確；如[評估方案三]，11,13,17,19 次諧波被電容器吸收明顯下降，系統諧振點 5.34 次也只得 5 次諧波放大 34.42%。由此思考，若電容器加入後，產生的系統諧振點並未靠近諧波負載產生的諧波次，事實上電容器還是一個不錯的高次諧波吸收器，只是為了用電安全，元件電容器的耐壓需經計算並繳交送審，此項猶為重要，許多工廠大樓電容器因諧波炸掉，引起火災？難道台電沒有責任嗎？

六、結論

本文不是一般的敘述文，是筆者不眠不休寫電腦程式計算出的數據，也是筆者走訪美加及美國費城 IEEE 工業應用協會 1998 發表最新諧波抑制技術後，公開的分析技巧。儘可能詳細的計算並從數據中找出諧波改善成效。如果讀者能親自演算或寫電腦程式來計算，事實上已掌控到整個諧波分析的輪廓。「諧波」不只是台灣供電品質的問題，也是世界性的問題，誰先掌握到抑制諧波最低技術，誰就能分享這塊動輒數千萬元的大餅。期待技術的分享，大家共同維護台灣供電品質，以提升國家競爭力。此亦為筆者敘寫此文的主要目地。