

從 12 吋晶圓製造廠談 諧波抑制及評估技術

經濟部標準檢驗局 台南分局
技正 林昆平

一、前言

依稀記得前年 11 月份新竹科學園區內某四吋晶圓廠一場大火造成全廠停電數小時即損失兩億元，股票並應聲下跌，該事故應強調是停電造成損失，而非火災造成損失，停電有可能是諧波引起的。

據統計台電每年至少兩次的停電往往造成半導體廠千萬元的損失。再再說明了一件事，全世界不管是幾吋晶圓製造廠均停電不得。其理由是因製造晶圓的材料 GaAs 並不便宜，一支八吋晶圓長到 1.5M 需由晶圓機連續運轉三天，幾分鐘的斷電都將影響長晶的均勻性，材質濃度一旦出了問題，其效用馬上喪失，更甯談下游的代工生產了，可想像的是整批貨將報銷，接下來鍋爐清洗等善後工作更是複雜。

什麼東西會造成火災、停電呢？除了人為因素還有什麼呢？有！那是一個看不見的東西，什麼時候發生難以掌握，這東西正是目前供電品質最熱門的話題「諧波」。本事務所去年接受 IEEE 工業及商業電力系統協會(IEEE Industrial & Commercial Power Society)的邀請，在美國費城發表諧波抑制技術論文〔1〕晚宴會場，一位廠商就以一座 12 吋晶圓製造廠諧波停電事故，詢問筆者解決之道。

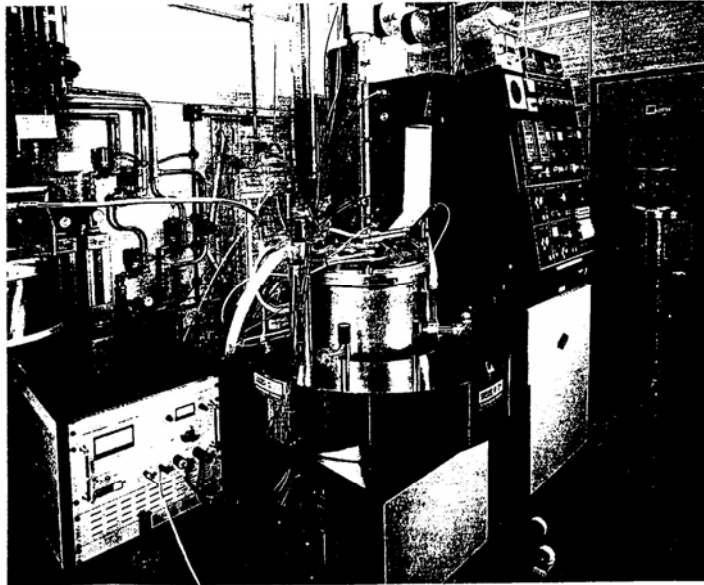
故本文即以此案例進行諧波抑制評估技術，相信對國內如火如荼興建中的晶圓製造廠有所助益。本文將依次介紹晶圓廠產生諧波過程，其次由數個評估方案逐一分析，以求以最低成本達到抑制的最佳效果，最後是結論。

二、晶圓機與靜磁器

晶圓機(Crystal Puller)及靜磁器(Crystal Magnet)可說是晶圓廠的生產核心，隨著鍋爐容量大小，製造晶圓有四吋、八吋、十二吋及十六吋。圖 1-1 所示為其整套型外觀。

長晶過程首先必需把半導體材料 Si 或 GaAs 溶解，其次利用種晶及拉棒旋轉逐漸拉出各種規格尺寸之晶圓，再予以切片。以供下游光電產品、電腦 IC、固態元件、VLSI 製作電路。由於半導體材料 Si、GaAs 其溶解點在 1420℃，因此晶圓機內部有一石墨組成的爐體外加一組輻射加熱線圈；這組加熱器為了具有高電流加熱能力，且不受附近磁場耦合效應變更電流大小而影響加熱均勻性，其電源需採用直流電。但為了這個直流電源，該晶圓機內部勢必加裝一組六脈衝電力整流器來達成，眾所皆知電力整流器本身就是一個產生(6n±1)次諧波(n=1.2.3.....)的污染源。

50 kg 的材料從被溶解至長成八吋晶圓 1.5m 長需 350kVA 的電力持續供電 72 小時，其諧波污染可想而知。另外加熱過程熔液會發生熱騷動致影響晶圓的均勻性，因此外圍尚需加裝一組靜磁器，利用靜磁場來減低材質的擾動。500~5000 高斯的靜磁場需 150kVA 直流電力來產生，其諧波污染亦值得堪慮。因此對於晶圓製造廠在作電力系統規劃時，其諧波抑制需加以重視，否則諧波所造成電容器損壞，共振弦光燒毀盤體及保護電驛誤動作致全廠停電，將有機會發生。



三、晶圓廠保護電驛跳脫停電事故

圖 2-1 為某一 12 吋晶圓製造廠供電系統圖。圖 2-2 為晶圓機配電系統圖。正常操作下：左側主變壓器負責晶圓一、二廠供電，右側主變壓器負責晶圓三、四廠供電，Tie GCB 呈 open 狀態將兩邊隔離；兩台主變壓器以半載運轉。去年該廠將右側主變壓器卸載以進行維護，晶圓三、四廠改由左側主變壓器滿載供電，Tie GCB 呈 close 狀態，但不明事故發生，造成 NO.2 GCB 跳脫致全廠停電，廠務工程師重新投入，卻屢投不入，由 SCADA 記錄資料發現動作 NO.2 GCB 的跳脫機構，有異常過電流現象並超出 51 relay 安全設定值。另外，功因改善電容器則有部份燒毀，經查當時該廠並未過載運轉，多出的負載電流到底由何而來？是諧波嗎？抑是跳脫機構出了問題？以下將由數個評估方案抽絲剝繭逐一進行分析與評論，以期找到真正的原因並進行改善對策。

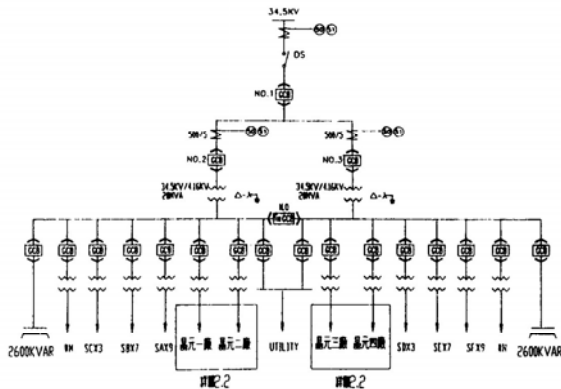


圖 2-1 某十二吋晶圓廠單線圖概略

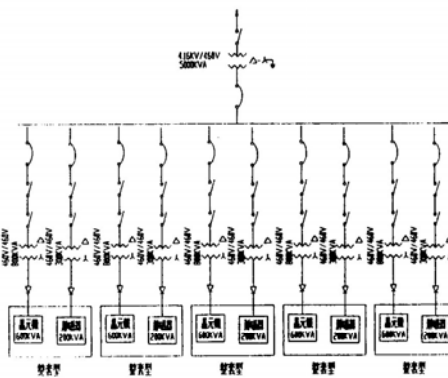


圖 2-2 晶圓機及靜磁器供電系統圖

四、評估方案與改善對策

〔評估方案一〕改善前系統諧波失真探討

觀察圖 2-2 整套型長晶機前端均置有 Δ Y 接變壓器，電壓為 460V 變 460V，這是很奇怪的！既是變壓器電壓怎會一成不變呢？很顯然這些變壓器功能不在變壓而是擔當另外一種功能——「諧波抑制」，此種技術稱為 PM，

但 PM 規定變壓器排列方式為△△、△Y、△△、△Y……才具有抵消諧波的功能，圖 2-2 顯示又並無此功用。筆者猜測可能是配電設計人員在不明瞭其功能下，擅自將△△改回△Y以求系統對稱所造成。(晶圓製造廠的配電單線圖有大部份是模仿既設廠)既然已成事實，就以此事實來分析如下。

< I > 基本資料描述

- (1)供電壓 V1=34.5KV，基準容量 SB=10 MVA，主變壓器容量 ST=20000 KVA
- (2)電源短路容量 SCC = 3130 MAV
因此短路電流 I_{sc}=(3130×1000)/(√3×34.5)=52381.4 A
- (3)負載電流取主變壓器一次側或電源側額定電流 I_L=335.0 A
- (4)I_{sc}/I_L=52381.4/335.0=156.4 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						綜合諧波 THD %
	I _{sc} /I _L	各次諧波限制值(奇次諧波)					
		<11	11≤N<17	17≤N<23	23≤N<35	35≤N	
#1	<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
#2	20~50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
#3	50~100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
#4	110~1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
#5	>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

- 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%

< II > 相關用電資料

- (1)電源阻抗 X_s 之 PU 值換算
最小短路容量=3130 MVA，系統基準容量=10 MVA
X_s=(1 PU)×(10 MVA)/(3130 MVA)=j0.0032 PU
- (2)變壓器阻抗 X_t 之 PU 值換算
PHASE=3φ，變壓器容量=20000 KVA，個數=1 具，淨容量=20000 KVA
系統基準容量=10 MAV，查表知阻抗為：j0.09 PU
X_t=0.0900PU×(10MVA×1000)/20000 KVA=j0.045PU
- (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：十二吋晶圓機，容量：600.0 KVA，台數：20，注入處電壓：0.46 KV

諧波次	諧波電流 I _h (A)
5.0	143.09 A
7.0	94.89 A
11.0	52.70 A
13.0	39.91 A
17.0	29.67 A
19.0	23.57 A
23.0	10.10 A
25.0	9.60 A
29.0	10.20 A
31.0	7.76 A
35.0	5.35 A
37.0	3.60 A
41.0	1.96 A
43.0	0.70 A
47.0	0.17 A
49.0	0.15 A

上述諧波電流為 AMP 值，轉換 PU 需除上 $(10 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 0.46KV)$

也就是乘上 0.000080 故並入系統之諧波電流 PU 值如下：

諧波次	諧波電流 Ih(PU)
5.0	0.01140 PU
7.0	0.00756 PU
11.0	0.00420 PU
13.0	0.00318 PU
17.0	0.00236 PU
19.0	0.00188 PU
23.0	0.00080 PU
25.0	0.00076 PU
29.0	0.00081 PU
31.0	0.00062 PU
35.0	0.00043 PU
37.0	0.00029 PU
41.0	0.00016 PU
43.0	0.00006 PU
47.0	0.00001 PU
49.0	0.00001 PU

〔NO.2〕設備名稱：靜磁器，容量：200.0 KVA，台數：20，注入處電壓：0.46 KV

諧波次	諧波電流 Ih(A)
5.0	47.70 A
7.0	31.63 A
11.0	17.60 A
13.0	13.30 A
17.0	9.90 A
19.0	7.86 A
23.0	3.40 A
25.0	3.10 A
29.0	2.80 A
31.0	2.60 A
35.0	1.78 A
37.0	1.20 A
41.0	0.65 A
43.0	0.23 A
47.0	0.06 A
49.0	0.05 A

上述諧波電流為 AMP 值，轉換 PU 需除上 $(10 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 0.46KV)$

也就是乘上 0.000080 故並入系統之諧波電流 PU 值如下：

諧波次	諧波電流 Ih(PU)
5.0	0.00380 PU
7.0	0.00252 PU
11.0	0.00140 PU
13.0	0.00106 PU
17.0	0.00079 PU
19.0	0.00063 PU
23.0	0.00027 PU
25.0	0.00025 PU
29.0	0.00022 PU
31.0	0.00021 PU
35.0	0.00014 PU
37.0	0.00010 PU
41.0	0.00005 PU
43.0	0.00002 PU
47.0	0.00000 PU
49.0	0.00000 PU

<III> 改善前注入〔責任分界點〕(以下簡稱 D.P 點)之各次及綜合諧波電流失真率檢討

將(II)中(3)內各諧波源之(PU 值 × 台數)，再對應相同次數相加，得〔左欄數值〕又 D.P 點基波

負載電流 $I_{L1} = 335.0A$ ，轉換 PU 值為：2.0018 PU，除此值得各次諧波電流失真率如〔右欄數值〕：

次	電流值	除以 ILI(PU 值)→	次	失真率(Dh%)	標準抑制值
5.0	0.30401 PU		* 5.0	15.1870 %	6.00 %
7.0	0.20160 PU		* 7.0	10.0710 %	6.00 %
11.0	0.11202 PU		*11.0	5.5960 %	2.75 %
13.0	0.08479 PU		*13.0	4.2360 %	2.75 %
17.0	0.06306 PU		*17.0	3.1500 %	2.50 %
19.0	0.05008 PU		*19.0	2.5020 %	2.50 %
23.0	0.02152 PU		*23.0	1.0750 %	1.00 %
25.0	0.02024 PU		*25.0	1.0110 %	1.00 %
29.0	0.02072 PU		*29.0	1.0350 %	1.00 %
31.0	0.01651 PU		31.0	0.8250 %	1.00 %
35.0	0.01137 PU		*35.0	0.5680 %	0.50 %
37.0	0.00767 PU		37.0	0.3830 %	0.50 %
41.0	0.00416 PU		41.0	0.2080 %	0.50 %
43.0	0.00148 PU		43.0	0.0740 %	0.50 %
47.0	0.00038 PU		47.0	0.0190 %	0.50 %
49.0	0.00032 PU		49.0	0.0160 %	0.50 %

改善前綜和諧波電流失真率 $THDi = \sqrt{(Dh \times Dh)} = 20.049 \%$

註：*表示不合格

(V) 評論與分析

動作 NO.2 GCB 的 51 relay 設定值為 $T/L=4A/0.2$ ，採用 ABB SPAJ140C Normal Inverse 型；主幹線需 400A 以上，GCB 才會因過載而跳脫。計算顯示諧波電流 $335 \times 20.049\% = 67.5A$ 加上額定電流 335A，其綜合電流為 $\sqrt{67.5^2 + 335^2} = 341.7A$ ，此值遠小於 400A，判斷不該是諧波所造成的跳脫。但許多文章均提到功因改善電容器是擴大諧波失真的元凶，有必要考慮此一因素。

〔評估方案二〕投入 5.2MVAR 電容器對諧波失真影響

<I> 計算

加入功因改善電容器容量 $\Delta Qc = 5.200MVAR$

可求出容抗值 Xc ，再利用分流定理得失真率 $Dh = I_h \times Xch / (Xsh + Xth - Xc)$

如〔右欄所示〕：其中 I_h 為諧波源之各次諧波電流

次	改善前失真率(%)	加入電容器→	次	失真率(Dh%)	標準抑制值
5.0	15.18700 %		* 5.0	34.6366 %	6.00 %
7.0	10.07100 %		* 7.0	-100.1036 %	6.00 %
11.0	5.59600 %		*11.0	-3.2576 %	2.75 %
13.0	4.23600 %		13.0	-1.5150 %	2.75 %
17.0	3.15000 %		17.0	-0.5736 %	2.50 %
19.0	2.50200 %		19.0	-0.3520 %	2.50 %
23.0	1.07500 %		23.0	-0.0988 %	1.00 %
25.0	1.01100 %		25.0	-0.0775 %	1.00 %
29.0	1.03500 %		29.0	-0.0579 %	1.00 %
31.0	0.82500 %		31.0	-0.0401 %	1.00 %
35.0	0.56800 %		35.0	-0.0214 %	0.50 %
37.0	0.38300 %		37.0	-0.0129 %	0.50 %
41.0	0.20800 %		41.0	-0.0057 %	0.50 %
43.0	0.07400 %		43.0	-0.0018 %	0.50 %
47.0	0.01900 %		47.0	-0.0004 %	0.50 %
49.0	0.01600 %		49.0	-0.0003 %	0.50 %

加入電容器後綜和諧波電流失真率 $THDi = \sqrt{(Dh \times Dh)} = 105.990\%$

註：*表示不合格

系統諧振點：6.67 次

〔等效電容器承受線電壓，電流，資料分析如下：〕

其中 $V_{bus}=4.160KV$ ，D.P 點 $V_s=34.50KV$

流往電容器 $C \rightarrow I_c 5.0 = -540.3584A$ ，流往 D.P 點 $I_s 5.0 = 116.033A$

流往 $C \rightarrow I_c 7.0 = 3060.9211A$ ，流往 D.P 點 $I_s 7.0 = -335.347A$

流往 $C \rightarrow I_c 11.0 = 245.9751A$ ，流往 D.P 點 $I_s 11.0 = -10.913A$

流往 $C \rightarrow I_c 13.0 = 159.7780A$ ，流往 D.P 點 $I_s 13.0 = -5.075A$

流往 $C \rightarrow I_c 17.0 = 103.4516A$ ，流往 D.P 點 $I_s 17.0 = -1.922A$

流往 $C \rightarrow I_c 19.0 = 79.2903A$ ，流往 D.P 點 $I_s 19.0 = -1.179A$

流往 $C \rightarrow I_c 23.0 = 32.6107A$ ，流往 D.P 點 $I_s 23.0 = -0.331A$

流往 $C \rightarrow I_c 25.0 = 30.2423A$ ，流往 D.P 點 $I_s 25.0 = -0.260A$

流往 $C \rightarrow I_c 29.0 = 30.3622A$ ，流往 D.P 點 $I_s 29.0 = -0.194A$

流往 $C \rightarrow I_c 31.0 = 24.0340A$ ，流往 D.P 點 $I_s 31.0 = -0.134A$

流往 $C \rightarrow I_c 35.0 = 16.3756A$ ，流往 D.P 點 $I_s 35.0 = -0.072A$

流往 $C \rightarrow I_c 37.0 = 10.9984A$ ，流往 D.P 點 $I_s 37.0 = -0.043A$

流往 $C \rightarrow I_c 41.0 = 5.9360A$ ，流往 D.P 點 $I_s 41.0 = -0.019A$

流往 $C \rightarrow I_c 43.0 = 2.1066A$ ，流往 D.P 點 $I_s 43.0 = -0.006A$

流往 $C \rightarrow I_c 47.0 = 0.5387A$ ，流往 D.P 點 $I_s 47.0 = -0.001A$

流往 $C \rightarrow I_c 49.0 = 0.4529A$ ，流往 D.P 點 $I_s 49.0 = -0.001A$

電容值 $C = 797.0481 \text{ uf}$ ， $V_{cl} = 4.1600KV$ ， $I_{cl} = 721.71A$

諧波增流 $\sqrt{\text{sqr}(I_{ch})} = 3125.405A$ ，諧波增壓 $\text{sqr}(V_{ch}) = 2.6009KV$

電容器耐線電壓 $\sqrt{(\text{sqr}(V_{cl}) + \text{sqr}(V_{ch}))} \times 110\% = 5.3967KV$

電容器耐線電流 $\sqrt{(\text{sqr}(I_{cl}) + \text{sqr}(I_{ch}))} \times 130\% = 4169.94A$

< II > 評論與分析

觀察上述分析值，5.2MVAR 電容阻抗值與電源主變阻抗形成的系統自然頻率應點落在 6.67 次。因此接近的七次諧波電流立即被放大 10 倍而諧波綜合電流為 $335 \times 106\% = 335A$ ，加上基波電流 335A，其綜合電流為 488A 此值已遠超過 51 relay 安全設定值 400A，判斷 GCB 應在 4sec 左右跳脫(ref ABB SPAJ140C Normal Inverse 動作特性曲線)。另一方面電容器製造耐壓 $4.16KV \times 110\% = 4.576KV$ ，實際承受綜合電壓為 $\sqrt{4.16^2 + 2.6^2} = 4.9KV$ ，已超出耐壓值，將對電容器單體造成毀損。底下幾個方案將針對此一現象進行改善。

〔評估方案三〕相移操作技術

首先將整套型長晶機前置變壓器進行抽換並將最後一台改成三繞組變壓器，安排如圖 3-1 所示。

< I > 基本資料分析

(1)本工程採用〔相移操作〕的方法來抑制諧波

(2)所謂〔相移操作〕(Phase Multifaction)是在諧波源前放置變壓器並將其接成 ΔY ， $Y \Delta$ ，... 依序排列，具有抵消 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。

< II > 相關用電資料

〔NO.1〕設備名稱：十二吋晶圓機，容量：600.0 KVA，台數：20，注入處電壓：0.46 KV

採用相移操作抵消 5，7，17，19，31，41，43 次諧波，抵消後每台將只剩下該次諧波

電流的 5%(ref IEEE), 其它次諧波則無消功用。

諧波次	諧波電流(A)
5.0	143.09 A × 5%
7.0	94.89 A × 5%
11.0	52.70 A
13.0	39.91 A
17.0	29.67 A × 5%
19.0	23.57 A × 5%
23.0	10.10 A
25.0	9.60 A
29.0	10.20 A λ × 5%
31.0	7.76 A × 5%
35.0	5.35 A
37.0	3.60 A
41.0	1.96 A × 5%
43.0	0.70 A × 5%
47.0	0.17 A
49.0	0.15 A

上述諧波電流為 AMP 值, 轉換 PU 需除上 $(10 \times 1000) / (\sqrt{3} \times 0.46KV)$

也就是乘上 0.000080 故並入系統之諧波電流 PU 值如下:

諧波次	諧波電流(PU)
5.0	0.00057 PU
7.0	0.00038 PU
11.0	0.00420 PU
13.0	0.00318 PU
17.0	0.00012 PU
19.0	0.00009 PU
23.0	0.00080 PU
25.0	0.00076 PU
29.0	0.00004 PU
31.0	0.00003 PU
35.0	0.00043 PU
37.0	0.00029 PU
41.0	0.00001 PU
43.0	0.00000 PU
47.0	0.00001 PU
49.0	0.00001 PU

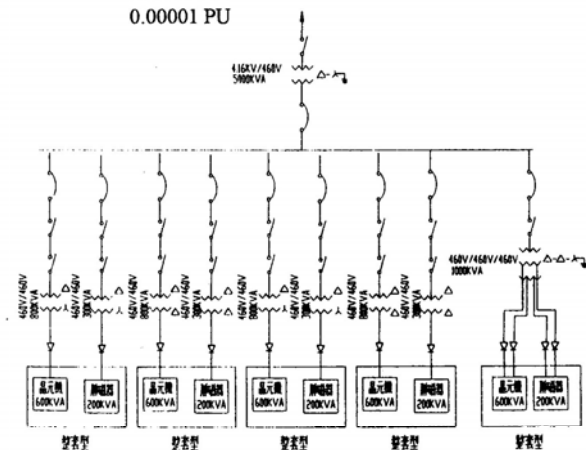


圖 3-1 建議改善後晶圓機及靜磁器供電系統圖

[NO.2] 設備名稱：靜磁器，容量：200 KVA，台數：20 注入處電壓：0.46KV

採用相移操作抵消 5,7,17,19,31,41,43 次諧波，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

諧波次	諧波電流 (A)
5.0	47.70 A × 5%
7.0	31.63 A × 5%
11.0	17.60 A
13.0	13.30 A
17.0	9.90 A × 5%
19.0	7.86 A × 5%
23.0	3.40 A
25.0	3.10 A
29.0	2.80 A × 5%
31.0	2.60 A × 5%
35.0	1.78 A
37.0	1.20 A
41.0	0.65 A × 5%
43.0	0.23 A × 5%
47.0	0.06 A
49.0	0.05 A

上述諧波電為 AMP 值，轉換 PU 需除(10×1000)/(√3×0.46KV)也就是乘上 0.000080 故並系統之諧波電流 PU 值如下：

諧波次	諧波電流(PU)
5.0	0.00019 PU
7.0	0.00013 PU
11.0	0.00140 PU
13.0	0.00106 PU
17.0	0.00004 PU
19.0	0.00003 PU
23.0	0.00027 PU
25.0	0.00025 PU
29.0	0.00001 PU
31.0	0.00001 PU
35.0	0.00014 PU
37.0	0.00010 PU
41.0	0.00000 PU
43.0	0.00000 PU
47.0	0.00000 PU
49.0	0.00000 PU

< III > 改善後注入〔責任分界點〕之各次及綜合諧波電流失真率檢討

將(II)內各諧波源之(PU 值×台數)，再對應相同次數相加，得〔左欄數值〕又 D.P 點基波負載電流 ILI = 335.0A，轉換 PU 值為：2.0018 PU，除此值得各次諧波電流失真率如〔右欄所示〕：

次	電流值	除以 ILI(PU 值)	次	失真率(DH%)	標準抑制值
5.0	0.01521 PU	5.0	0.7600 %	6.00 %	
7.0	0.01009 PU	7.0	0.5040 %	6.00 %	
11.0	0.11202 PU	*11.0	5.5960 %	2.75 %	
13.0	0.08479 PU	*13.0	4.2360 %	2.75 %	
17.0	0.00314 PU	17.0	0.1570 %	2.50 %	
19.0	0.00250 PU	19.0	0.1250 %	2.50 %	
23.0	0.02152 PU	*23.0	1.0750 %	1.00 %	
25.0	0.02024 PU	*25.0	1.0110 %	1.00 %	
29.0	0.00104 PU	29.0	0.0520 %	1.00 %	
31.0	0.00082 PU	31.0	0.0410 %	1.00 %	
35.0	0.01137 PU	*35.0	0.5680 %	0.50 %	
37.0	0.00767 PU	37.0	0.3830 %	0.50 %	
41.0	0.00022 PU	41.0	0.0110 %	0.50 %	
43.0	0.00008 PU	43.0	0.0040 %	0.50 %	
47.0	0.00038 PU	47.0	0.0190 %	0.50 %	
49.0	0.00032 PU	49.0	0.0160 %	0.50 %	

※相移操作後，綜和諧波電流失真率 THDI = √(Dh × Dh) = 7.265%

註：*表示不合格

< V > 評論與分析

原不合格的 5,7,17,19,29 次諧波已改善至合格；THD 由 20.049% 下降至 7.265%。可惜 11,13,23,25,35 次諧波仍不合標準尚待解決。不曉得讀者會不會覺得相移操作每次都要利那麼多變壓器不但佔地方，維護起來也不易。圖 3.2 為筆者建議的配電方式；符合諧波負載由專用迴路供電。只是這台三繞組變壓器需經訂購，其線圈耐流，一次二次側間距，阻隔板厚度都要經過詳細的分析與計算，筆者正在做這方面的研究，在此不討論。

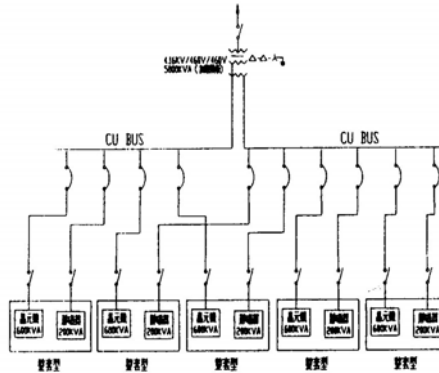


圖 3-2 建議最佳設計模式

〔評估方案四〕相移操作+投入功因改善電容器

< I > 計算

加入功因改善電容器 $\Delta Q_c = 5.200 \text{ MVAR}$

可求出容抗值 X_c ，再利用分流定理得失真率 $D_h = I_h \times X_{ch} / (X_{sh} + X_{th} - X_{ch})$

如〔後欄所示〕：其中 I_h 為諧波源之各次諧波電流

次	改善前失真率(%)	加入電容器→	次	失真率(DH%)	標準抑制值
5.0	0.76000 %		5.0	1.7333 %	6.00 %
7.0	0.50400 %		7.0	-5.0097 %	6.00 %
11.0	5.59600 %		*11.0	-3.2576 %	2.75 %
13.0	4.23600 %		13.0	-1.5150 %	2.75 %
17.0	0.15700 %		17.0	-0.0286 %	2.50 %
19.0	0.12500 %		19.0	-0.0176 %	2.50 %
23.0	1.07500 %		23.0	-0.0988 %	1.00 %
25.0	1.01100 %		25.0	-0.0775 %	1.00 %
29.0	0.05200 %		29.0	-0.0029 %	1.00 %
31.0	0.04100 %		31.0	-0.0020 %	1.00 %
35.0	0.56800 %		35.0	-0.0214 %	0.50 %
37.0	0.38300 %		37.0	-0.0129 %	0.50 %
41.0	0.01100 %		41.0	-0.0003 %	0.50 %
43.0	0.00400 %		43.0	-0.0001 %	0.50 %
47.0	0.01900 %		47.0	-0.0004 %	0.50 %
49.0	0.01600 %		49.0	-0.0003 %	0.50 %

加入電容器後綜合諧波電流失真率 $THD_i = \sqrt{(D_h \times D_h)} = 6.405\%$

註：*表示不合格

系統諧振點：6.67 次

< II > 評論與分析

五、七次諧波因接近系統諧振點而遭擴大，但相移操作又將其削減大部份，因此整體而言對 THD 的影響不大。至於電容器對因高次諧波呈低阻抗特性，吸收不少高次諧波電流，使 11 次以上各次諧波失真下降。因

此功因改善電容器在諧波系統中有害無益。此論點並不正確。有害無害完全取決電容器加入後與電源、變壓器阻抗的系統諧振點；如果系統中並未在任何接近此諧振點的諧波，電容器似乎還是一個不錯的高次諧波吸收器，只是其耐壓要特別經過分析計算予以加強。這是在諧波系統中使用電容器應特別留意的地方。

〔評估方案五〕設計三組單調式濾波器

< I > 問題規劃

將圖 2-1 掛在 4.16KV BUS 上的 5200KVAR 電容拿掉，改由三組單調式濾波器替換；分別為制五、七、十一次諧波。我們希望 THD 抑制至最小而各次諧波可被抑制符合 IEEE-519 標準。除此外三組濾波器尚需負責虛功補償並考慮諧振點不受季節、製造誤差的影響而落於串聯共振範圍。欲達成此目標需藉由表 3.1 的設計流程來達成，此亦為全世界唯一設計流程。但這種方法的缺點在於對系統毫無頭緒下，如何猜中構成濾波器元件中電容器的 C 值及電抗器的 L 值呢？近來筆者所提出一個新的設計方式〔2〕，強調問題規劃的重要性，該文已經兩位美國專業人士二度審核，在年度數百篇論文中擠進 25% 名內，獲 IEEE Transation 刊登權。筆者特將其簡述如表 3.2 所示。現在我們引用此工具把問題快速規劃如 表 3.3 所示。

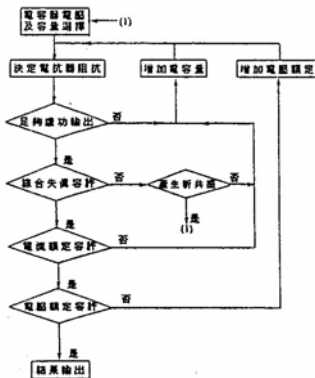


表 3.1 IEEE 濾波器兼功因改善設計流程

用於輸入之諧波源式濾波系統此電容式如下列模型

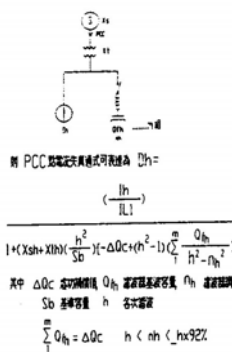


表 3.2 LIN'S THEOREM

Program THDi = min $\sqrt{\sum_{n=2}^{50} D_n^2}$
 * (DF5,n5) (DF7,n7) (DF11,n11)
 St
 (-) 選擇參數計算 (二) 容功補償
 $4 < n5 < 5 \times 0.92$ $0.5 < Q17 < 0.11 = 5.2$
 $6 < n7 < 7 \times 0.92$ $0.5 > 0$ $Q17 > 0$
 $10 < n11 < 11 \times 0.92$ $0.11 > 0$
 (二) 選擇輸出端諧波之容功補償
 $0 < D5 < 6\%$ $0 < D19 < 2.5\%$
 $0 < D7 < 6\%$ $0 < D23 < 1\%$
 $0 < D11 < 2.75\%$ $0 < D25 < 1\%$
 $0 < D13 < 2.75\%$ $0 < D29 < 1\%$
 $0 < D17 < 2.5\%$ $0 < D35 < 0.5\%$

$$D_n = \frac{(-I_h)}{L_n C}$$

$$1 + (X_{sh} + X_{lh}) \left(\frac{h^2}{S_b} \right) - \Delta Q_c + (h^2 - 1) \left(\frac{Q_h}{h^2 - n^2} \right)$$

其中 ΔQ_c 容功補償 Q_h 濾波電容容量 Q_h 濾波電容
 S_b 基本容量 h 各次諧波
 $\sum_{n=1}^m Q_{hn} = \Delta Q_c$ $h < nh < h \times 92\%$

表 3.3 本例問題規劃

< II > 求解

以 S.U.M.T 數值分析法求解，電腦在 5 分 46 秒找到一組局域最佳解 $(Q_{r5}, \eta_5) = 3.962\text{MVAR}, 4.6)$, $(Q_{r7}, \eta_7) = (0.916\text{MVAR}, 6.44)$, $(Q_{r11}, \eta_{11}) = (0.322\text{MVAR}, 10.12)$ 滿足所有限制條件並使 THD 抑制至最低。改善後各次諧波失真率及設計結果如下所示：

次	DP 點電流失真
5	4.769%
7	3.735%
11	2.025%
13	2.040%
17	1.687%
19	1.367%
23	0.601%
25	0.569%
29	0.587%
31	0.470%
35	0.325%
37	0.220%
41	0.119%
43	0.043%
47	0.011%
49	0.009%

總和諧波電流失真率 THDi = 7.147%

設計結果：

濾波器	F#5	F#7	F#11
調和頻率階數	4.60	6.44	10.12
輸出虛功(kVAR)	3962	916	322
電容器 C 值(uf)	578	137	49.2
電容器耐壓(kv)	4.614	4.628	4.62
電抗器 L 值(mh)	0.575	1.24	1.39
電抗器耐流(A)	842	235	03
S.U.M.T 尋解時間：5 分 46SEC			

< III > 評論與分析

本案多達 17 個限制條件，在筆者過去處理的諧波案例中尚未碰到過。原本以為不曉得要跑上幾個小時才找得到設計值，電腦還是在 5 分 46 秒找到了。筆者手上也寫了一個 Try on ERR 程式，容量以 0.001VAR 的步幅進行猜解，跑了四天還找不到答案，乾脆把電腦給關了。其實濾波器設計是一件相當困難的事。不但要抑制諧波使符合 IEEE-519 標準，還要作功因改善，更要抑制本身投入時的突波電流，可說是身兼三職。因此設計前需對系統作詳細的評估、模擬。

五 結論

筆者最後還是建議該業主採取「評估方案四」，配合圖 3.2 的供電方式改善；經費約 300 萬元左右。若採取「評估方案五」可以符合所有法規規定，但由於抑制五次諧波濾波器耐流過大，尚需分成數組，加上電抗器、電容器的訂購及額外的設計費用(雖然筆者已給了他設計值)；經費約 1500 萬左右。何況抑制後並不比「評估方案四」好。縱使評估方案四中尚有 11 次諧波失真不合格；但整體而言，其抑制效果是最好的。

六 後記

台南科學園區內台積電將投入 4000 億元蓋一座八吋晶圓廠及五座 12 吋晶圓廠；聯電也將在南科設立六座八吋及 12 吋晶圓廠 5000 億元。其它還有華邦的 1600 億元，茂矽廠、德基廠、旺宏等總計投資高達 1 兆 5000 億元；幾乎佔了南科總值八成。因此晶圓廠運轉穩定與否關係到台灣邁向 21 世紀科技島的成敗。不管晶圓廠供電系統是由誰規劃設計，本文主要在提醒設計者應重視晶圓廠內部大型直流負載所引起的諧波問題，否則任何因諧波所造成廠商的損失，股票重挫、這個責任到底誰要來負呢？