

電機電子產品共振 問題探討



台南分局第一課 技正 林昆平

一、前言

「共振」一詞，相信大家最近常常聽到，但很多人似乎不太了解它的含意。就拿前陣子張惠妹台北市立體育場舉辦的演唱會為例，群眾的噪音居然引起臨近建築物的晃動，據建築師依民眾拍攝家中搖晃之錄影帶解析，矛頭都指向噪音波與大樓鋼材結構的共振現象。在聖經中也記載以色列人攻打「耶利哥城」的故事，當時以色列士兵一面喊叫一面繞著城牆跑，結果城牆不攻而倒，此為聲波振動波週期與建築物振動週期趨於一致，所產生共振效應。再如美國有一座橋，長期經風的吹襲而損壞，主因為風的波長與橋的震動波長一致，兩者產生共振效果，橋樑因而毀壞。如果大家還記得，去年南科高鐵的共振問題，曾造成某晶圓廠自南科撤資，指的就是鐵軌與高速火車共振，所帶來建築物搖晃的現象，什麼是「共振」呢？簡單的講，就是一種信號或行為，本來很微弱，經由材質彼此間的感應，而有加乘效果。一個簡單的例子，讀者家中的收音機，只有在某個頻率下，才能清楚地接收到某個特定節目，其實這就是共振；收音機天線經由該節目發射電磁波頻率的感應與內部電子電路產生共振，信號因而被放大出來。那麼電機電子產品有沒有引起共振的問題？答案是肯定的，主要是由其衍生低頻雜訊電流所引發，共鳴對象，則是供電系統或產品內部電容性負載（例如電容器）。底下我們舉例，來說明一個電機電子產品產生 1 安培雜訊電流，如何經由共振現象放大 700 倍，造成供電回路跳

脫的事實，相信對國內廠商在生產其產品時，更能重視低頻雜訊電流的抑制。

二、電機電子產品的共振舉例

圖 1 所示，一個單相 110V，1750VA 大容量電子產品，由於內部具備交流變換直流之整流電路，因此會在電源輸入端衍生雜訊電流並直接入侵供電系統，利用雜訊分析儀可在電子電路基板電源輸入端上測得 300Hz、1020Hz 及 1860Hz 三種雜訊電流，分別為 3A、1.5A 及 1A。由於該產品具非線性電路特質，功因特低，只有 0.57，廠商特別在該產品電源輸入端加了功因改善電容器 990VAR，可有效的將產品功因提高至 0.95，以節省電費。當此產品插入 110V 的插座端運轉時，我們來看看對供電系統有什麼樣的影響。

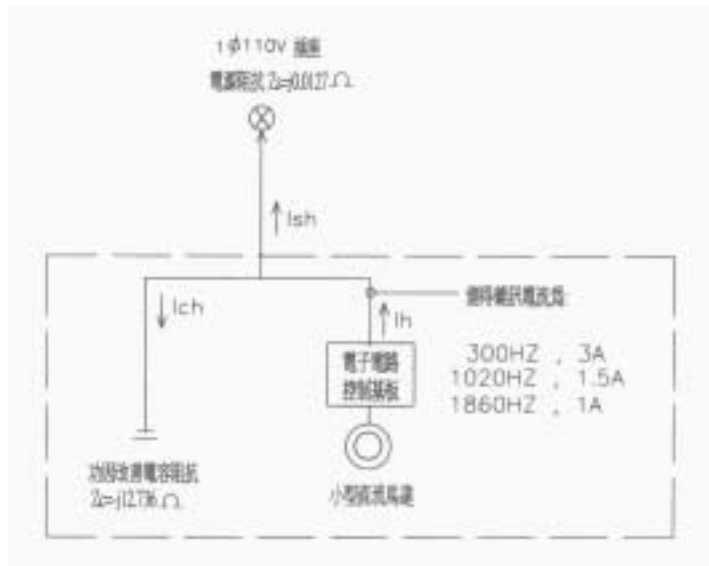


圖 1 某單相 110V 1750kVA 電子產品內部架構圖

三、產品衍生雜訊電流對供電系統之影響分析

3-1 運轉於 60Hz (f=60) 時

單相 110V 電源端屬電感性電源，短路電流約為

$$I_{sc}=5000A$$

電源短路容量

$$S_{cc}=\sqrt{3}\times 110V\times 5000A =952600VA$$

電源阻抗如下且與供電頻率成正比

$$Z_s=V^2/S_{cc}=j(2\pi f)L= j0.0127$$

單相 110V $Q_c=990VAR$

功因改善電容器其阻抗如下且與供電頻率成反比

$$Z_c= V^2/Q_c =110^2/990=1/j(2\pi fC)=- j12.222$$

產品額定操作電流為

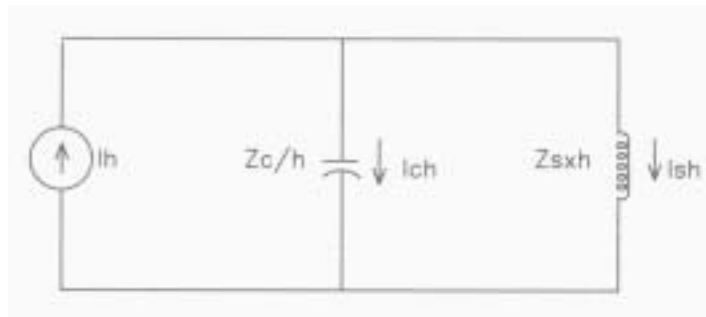
$$I=1750VA/110V=16A$$

3-2 產生 300Hz(f=300)雜訊電流時

300Hz 是 60Hz 的 5 倍，故又稱為第 5 次雜訊電流(I_5)，其分流流入插座端時，會使呈電源阻抗變成 5 倍；流入功因改善電容器時，會使電容阻抗縮小為 1/5 倍。等效電路便可描述如圖 2 所示，我們可輕易計算出流入電源端的第 5 次雜訊電流為

$$I_{s5} = I_5 \times (Z_c/5) / (Z_s \times 5 - Z_c/5)$$

$$=3A \times (12.222/5) / (0.0127 \times 5 - 12.222/5) = -4.053A$$



圖二 適用任何雜訊頻率的等效電路

3-3 產生 1020Hz(f=1020)雜訊電流時

1020Hz 是 60Hz 的 17 倍，故又稱為第 17 次雜訊電流(I_{17})，其分流流入插座端時，會使呈電源阻抗變成 17 倍；流入功因改善電容器時，會使電容阻抗縮小為 1/17 倍。如等效電路圖 2 所示，我們可輕易計算出流入電源端的第 17 次雜訊電流為

$$I_{S17} = I_{17} \times (Z_c/17) / (Z_s \times 17 - Z_c/17)$$

$$= 1.5A \times (12.222/17) / (0.0127 \times 17 - 12.222/17) = -2.14A$$

3-4 產生 1860Hz(f=1860)雜訊電流時

1860Hz 是 60Hz 的 31 倍，故又稱為第 31 次雜訊電流(I_{31})，其分流流入插座端時，會使呈電源阻抗變成 31 倍；流入功因改善電容器時，會使電容阻抗縮小為 1/31 倍。如等效電路圖 2 所示，我們可輕易計算出流入電源端的第 31 次電流為

$$I_{S31} = I_{31} \times (Z_c/31) / (Z_s \times 31 - Z_c/31)$$

$$= 1A \times (12.222/31) / (0.0127 \times 31 - 12.222/31) = -717A$$

3-5 系統共振點

假設此產品能產生一個雜訊電流 I_h (1A)，使流入插座端的雜訊電流變成無窮大，那麼這個雜訊電流的頻率為何呢？

$$I_{Sh} = I_h \times (Z_c/h) / (Z_s \times h - Z_c/h)$$

$$= 1A \times (12.222/h) / (0.0127 \times h - 12.222/h) =$$

let 分母=0

$$\text{即}(0.0127 \times h - 12.222/h) = 0$$

$$h=31.02196 \text{ 次}=1861.3176\text{Hz}$$

四、評論

在 3-5 節的分析中，我們很清楚的了解，產品內部的電容器與 110V 插座電源阻抗，產生了系統共振點，頻率 1861.3176Hz，約為 60Hz 的 31.02 倍。任何接近此頻率的雜訊電流，將有變成無窮大的危機。在 3-2 節 500Hz 的雜訊電流 3A，流進插座端為 4.053A，有稍微變大的傾向，主要是離系統共振頻率 1861.3176Hz 太遠，因此放大現象不明顯。在

3-3 節 1020Hz 雜訊電流 1A，流進插座端為 2.14A，一樣是離系統共振頻率遠，放大效果不明顯。在 3-4 節 1860Hz 雜訊電流 1A，流進插座端為 717A，放大 717 倍，比 60Hz 下，產品的額定電流 16A 還大，主要是太靠近系統共振頻率 1861.3176HZ 所致。

經由上述的分析，讀者應可了解，為什麼國外對 EMI 中，低頻（KHz 級）雜訊電流開始重視，因為供電系統與產品或系統內的電容負載，很容易形成系統共振頻率，而它往往就落在 KHz 級的低頻上。「高頻 EMI」管制電磁干擾，91 年已在台灣實施；「低頻 EMI」管制雜訊電流，國外正在起步，不要小看電機電子產品衍生出的低頻雜訊電流，一個 1A 微小雜訊，在系統共振的推波助瀾下，有能力變得相當強悍，摧毀所有電氣設備，引起火災。

五、結論

由非線性電路（二極體、電晶體及閘流體）組成的電機電子產品，一般均會產生低頻雜訊電流，除了對其它電器產生電磁干擾外，還不至於有嚴重的危害；最怕的是供電系統或產品內部存在著電容性負載，由於電容阻抗很容易與台電電源阻抗產生一個系統共振點，導至任何接近該共振點頻率的雜訊電流，放大百倍至千倍的危機。高熱的共振弧光除了燒毀設備，嚴重者甚至引發電線走火等公安事故。因此廠商生產的產品，若造成供電保護器不明原因跳脫或熔絲燒斷時，就得注意是否是雜訊電流引發的共振現象。對於一些更精密的電機電子產品而言，如何降低雜訊電流至最小，一般屬商業機密，廠商向來不透露任何技術資料，惟筆者已就相關問題，在本局實驗室內架構起相關設備，將進行這方面的技術研討，趨時再向各位作報告。

 參考文獻

1. C.K. Duffey, and R.P. Stratford. "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems", IEEE Std 519-1992.
2. 林昆平著, "An Advanced Computer Code For Single-Tuned Harmonic Filter Design", IEEE Transation on Industry Application, Vol.34, No.4, July/Aug 1998, PP.640-648.
3. 林昆平著, "從 12 吋晶圓製造廠談諧波抑制及評估技術", 第 71 期電機技師期刊, Oct 1998。
4. 林昆平著, "工業配電諧波問題改善", 國立台灣大學電機工程研究所 碩士論文, 1995.7。
5. 林昆平著, "電機電子產品諧波問題探討", 第 46 期標準與檢驗雜誌月刊, Oct 2002。