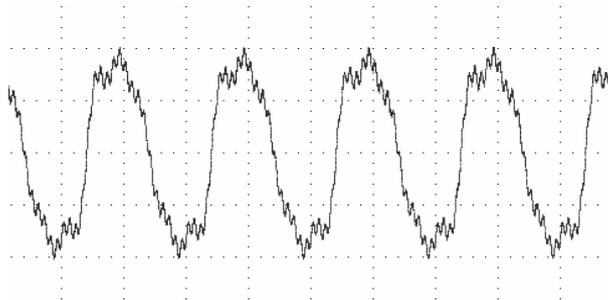


谐波与间谐波电压成份对电源供应器的影响

国际电子技术委员会(IEC international electrotechnical commission) 制定的有关电磁兼容(EMC electromagnetic compatibility), 其中与电源有关的法规 IEC61000-4-13 中, 有输入交流电压的谐波(harmonic)与间谐波(interharmonics)的测试项目, 是个较陌生的题目. 一般工程师或测试人员都不太了解何谓交流电压的谐波与间谐波成份? 测试的目的是什么? 它对电源供应器又有什么影响? 此文就针对此议题来做探讨.

一、何谓电压的谐波(harmonic)成份?

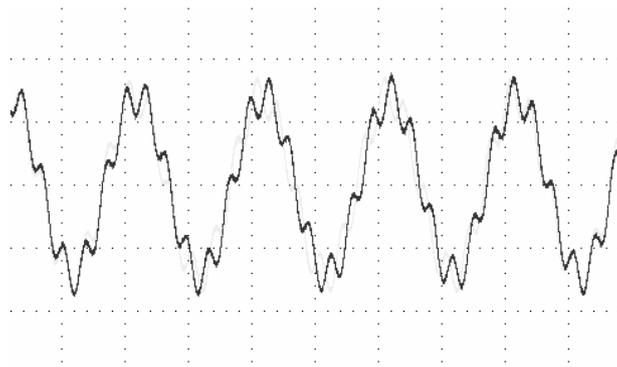
一般来说, 理想的交流电源应是纯正弦波形, 但因现实世界中的输出阻抗及非线性负载的原因, 导致电源波形失真, 如(图一). 若电压频率是 60Hz, 将失真的电压经傅立叶转换分析后, 可将其电压组成分解为除了基频(60Hz)外, 倍频(120Hz, 180Hz,.....)成份的组合. 其倍频的成份就称为谐波: harmonic. 而近年来整流性负载的大量使用, 造成大量的谐波电流, 也间接污染了市电, 产生电压的谐波成份. 另外一些市售的发电机或 UPS 本身输出电压就非纯正弦波, 甚至有方波的情形, 失真情形更严重, 所含谐波成份占了很大的比重.



(图一)含有谐波电压的波形图

二、何谓电压的间谐波(interharmonics)成份?

Inter 是指 "之间" 的意思. 所以 interharmonics 是指在谐波频率间的. 也就是不单基频的倍数频率的成份, 也包含了非倍数频率的成份在内, 范围更大. 而当交流电压有间谐波成份时, 最明显特征是每周期的电压波形都不太相同, 如(图二). 其发生原因可能为基频的变动, 或负载变动频率不是交流电源的倍数频, 例如: 马达,...等, 也常污染交流电源.



(图二)含有间谐波电压的波形图

三、对电源供应器产生的影响

一般电器或电源供应器在设计验证或生产测试时，都是用纯正弦波电压来做测试。而事实上，在日常使用环境下的交流电源却几乎没有不失真的。当交流电压有失真时，就会含有谐波或间谐波成份。而这类情况会对电器用品产生的影响，往往被大家所忽略。所以法规 IEC61000-4-13 的目的，就是针对待测物在输入交流电压有失真时，规定须有一定的免疫能力，来做为测试衡量标准。

含有谐波或间谐波成份的电压，对电器会产生什么影响呢？

1. 在法规中有提到使用交流电源网的电器，在电的能量交换过程中(例如：整流，滤波，电压转换...等)，都会应用到电感或电容。这类零件特性(包含因寄生效应产生的)搭配在一起，容易在某些频率呈现出非常低的阻抗，或称为共振点(resonance point)。若输入的电压含有此共振频率的成份，又有够大的振幅，就会产生能量共振，会使输入电流异常增加。
2. 另外一般电源供应器在对交流输入整流后，会设置输入电容器。失真的电压对电容器充电时，因电压波形与输入电流相关相位改变，输入电流值也可能会增加。

若在设计时没有考虑到这些效应，所使用的零件或散热条件，对输入电流增加和产生的额外功率消耗无法忍受，就可能会因而烧毁。例如：输入电感，变压器，整流二极管...等。

四、实验例证：测试谐波电压的影响

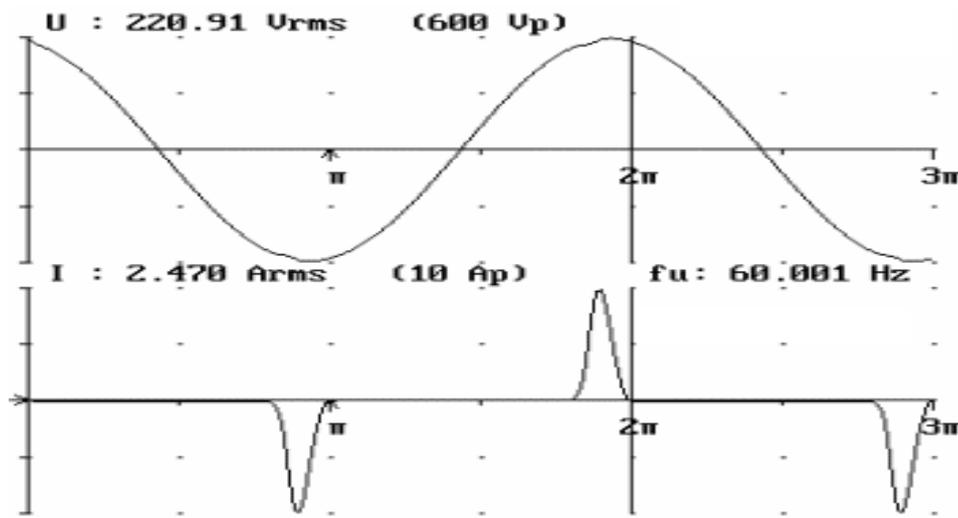
为了观察交流电源含其它谐波电压成份时，对电源供应器实际会造成何种影响，本次实验使用 Chroma 致茂电子的 AC source 61500 系列，做为交流电压源。使用它的 SYN(synthesis)功能，能编辑 50Hz 或 60Hz 的基本波，并控制其 2~40 阶的电压振幅及相位。还可以在纯正弦波形与失真波形间切换，很容易的就可观察出电源供应器的输入电流，功率等所受的影响。另外，也使用 Chroma 的 Power Analyzer 6630 来做量测，并纪录波形。待测物采用一般 PC 用，无 PFC 线路的电源供应器。

测试步骤：

1. 先将 AC source 设定正常的输入电压 220V, 60Hz, 电源供应器输出用电子负载拉载。观察 AC source 的输出电流，也就是电源供应器的输入电流。
2. 进入 Chroma AC source 的 SYN 功能，依法规 IEC1000-4-13 的 harmonics 测试规范的 Class 3, 来设定不同阶数的谐波大小及相位，观察输出电流的大小变化。用功率分析仪记录下来。
3. 针对电流增加点，记录电流值和输入电压，电流波形。

测试数据：

当输入纯正弦波 220V, 60Hz 电压后，由 Chroma 6630 Power Analyzer 量测到数值为：电压 $V=220.08V$ ，电流 $I=2.470A$ ，功率 $P=257.3W$ ，功率因素 $PF=0.473$ ，波峰因素 $CF=4.132$ 。电压与电流波形如(图三)。



(图三) 纯正弦波电压与输入电流图

跟据 IEC61000-4-13 的 harmonic 规范 Class 3 加入在各阶谐波成份后, 量测得输入电流如下表, (依规定 test level $\geq 3\%$ 时, 应加做 phase-lag = 180°):

1. 不含 3 倍数阶的奇数阶:

Class 3	Input current	
	phase-lag 0°	phase-lag 180°
Order		
n=5,level=12%	2.587A	2.234A
n=7,level=10%	2.750A	2.776A
n=11,level=7%	2.828A	2.971A
n=13,level=6%	3.135A	2.937A
n=17,level=5%	2.545A	3.015A
n=19,level=5%	2.999A	2.449A
n=23,level=4%	2.591A	2.461A
n=25,level=4%	2.473A	2.375A
n=29,level=4%	2.497A	2.431A
n=31,level=3%	2.429A	2.459A
n=35,level=3%	2.467A	2.433A
n=37,level=3%	2.429A	2.445A

2. 含 3 倍数阶的奇数阶:

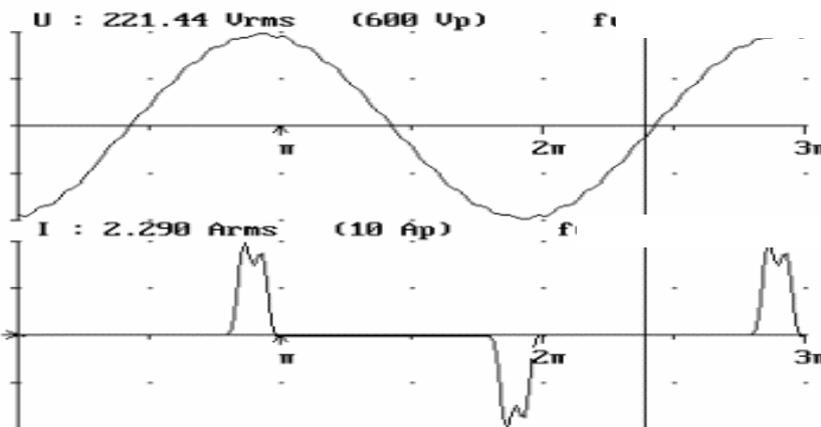
Class 3	Input current	
	phase-lag 0°	phase-lag 180°
Order		
n=3,level=8%	2.411A	2.439A
n=9,level=4%	2.764A	2.796A
n=15,level=3%	2.909A	2.569A
n=21,level=2%	2.284A	
n=27,level=2%	2.425A	
n=33,level=2%	2.415A	
n=39,level=2%	2.417A	

3. 偶数阶:

Class 3	Input current	
	phase-lag 0°	phase-lag 180°
Order		
n=2,level=4%	2.453A	2.459A
n=4,level=3%	2.523A	2.509A
n=6,level=3%	2.501A	2.553A
n=8,level=3%	2.571A	2.525A
n=10,level=3%	2.413A	2.437A
n=12-40,level=1.5%	2.379A - 2.457A	

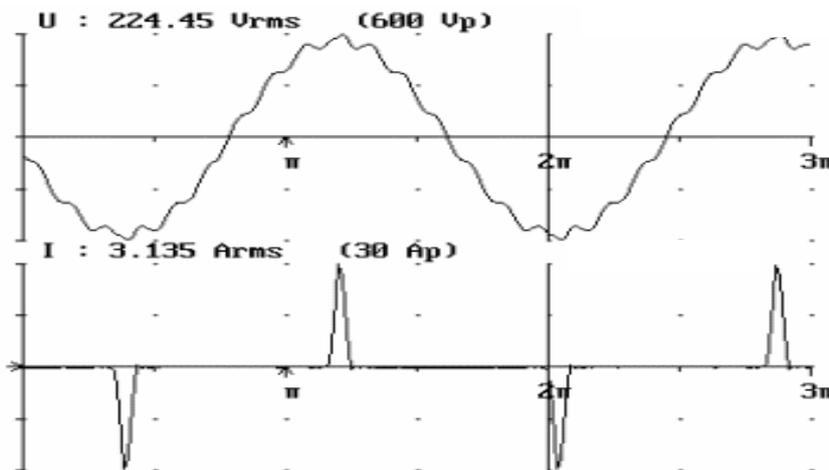
测试结果:

1. 当输入为纯正弦波电压时, 电流为 2.47A. 加入谐波电压成份后, 电流会有所变化, 最低为 $n=21$, $level=2\%$ 时, $I=2.282A$.



(图四) 含 $n=21$, $level=2\%$, $phase-lag=0$ 的电压与电流图

2. 最高为 $n=13$, $level=6\%$ 时, $I=3.135A$. 变动率为 35%, 而增加率达 27%.



(图五) 含 $n=13$, $level=7\%$, $phase-lag=0$ 的电压与电流图

五、实验例证: 测试间谐波电压的影响

为了观察交流电源含间谐波电压成份时, 对电源供应器实际会造成何种影响, 本次实验使用 Chroma 致茂电子的 AC source 61500 系列, 做为交流电压源. 使用它的 INTERHAR 功能, 能产生除了基频外, 再加迭上另一频率的电压成份的波形, 且可设定其频率的扫描范围(Fi_start , Fi_end), 时间(TIME)及振幅(LEVEL)大小, 很容易就可找出异常点. 并可观察在此情形下, 电源供应器输入电流变化及消耗功率的特性. 另外, 也使用示波器及 Chroma 的 Power Analyzer 6630 来做电流与时间关系的记录.

待测物采用一般 PC 用电源供应器. 因内部输入架构, 分三种不同类型:

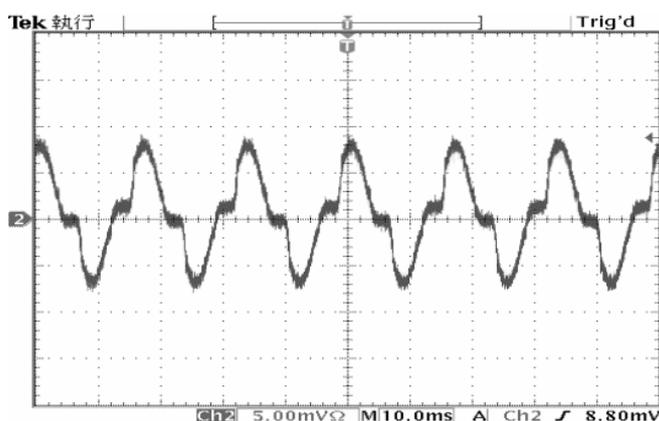
- a. 含主动式 PFC 线路的 power supply.
- b. 无 PFC 线路的 power supply.
- c. 含被动式 PFC 线路的 power supply. (输入端加电感).

测试步骤:

1. 先将 AC source 设定正常的输入电压 220V, 60Hz, 电源供应器用电子负载拉载. 观察 AC source 的输出电流.
2. 进入 INTERHAR 功能, 设定不同的 LEVEL 和扫瞄频率. 观察输出电流的大小变化. 用功率分析仪记录下来.
3. 针对电流增加点, 缩小扫瞄频率范围, 记录电流值和输入电压, 电流波形.

A. 测试有主动式 PFC 的 power supply : 基本测试设定为 220V, 60Hz.

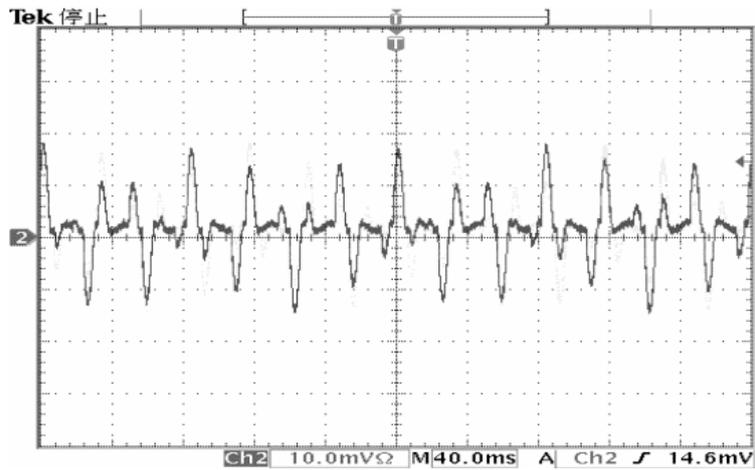
输出未含间谐波时, 拉载后量测输出为 $I=0.83A$, $P=178W$, $PF=0.96$. 电流波形如下(图六), 为有规律的周期波.



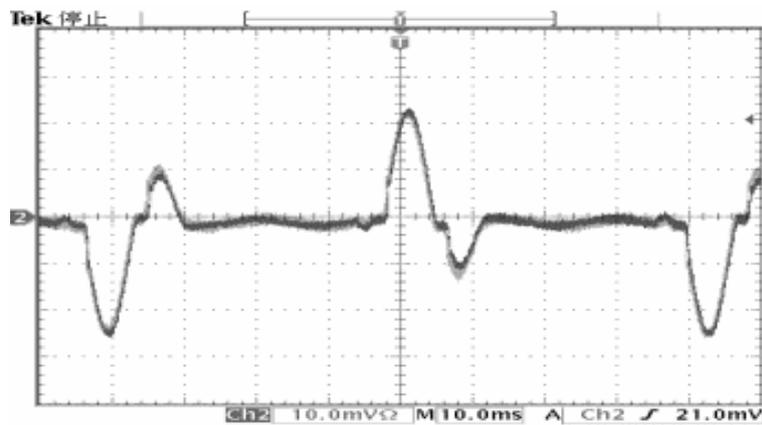
(图六) 无间谐波时的电流波形

在加上间谐波成分 7%, 并扫描后, 果然发现有些频率, 尤其 30Hz 和 90Hz 附近, 电流有明显急遽变化, 由 0.83A 上升高达 1.3A, 增加了 57%. 是否就是法规 IEC61000-4-13 所提的共振点, 还要再研究.

再针对电流有明显急遽增加点(取在 30Hz 附近), 做更详细观察. 其电流波形如下: 不仅电流波形不均衡(图七), 甚至有整周期都没输入电流的奇怪状况产生(图八).

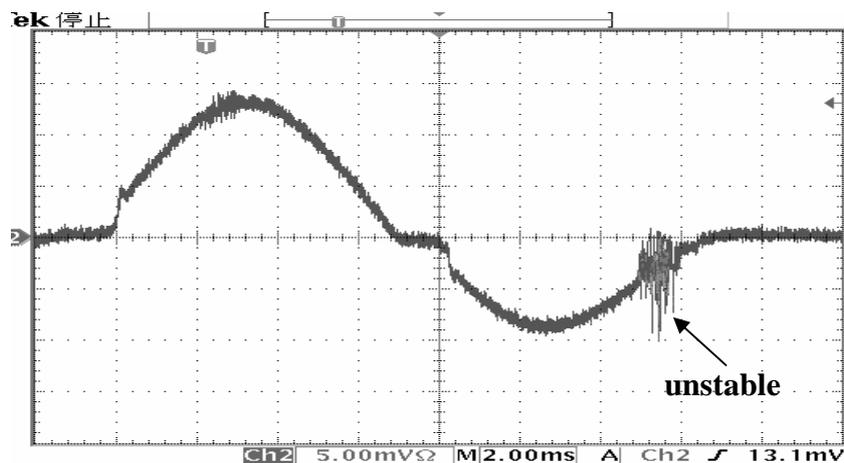


(图七)间谐波为 25Hz 时的电流波形



(图八) 间谐波为 35.9Hz 时的电流波形

在负载较重时 $I=2.27A$, $P=352W$ (接近满载), 扫描在某些频率时, 电流不但异常增加, 还可听到间断的高频杂声. 观察电流波形, 如(图九), 发现其中夹杂着高频噪声, 呈现不稳定现象.

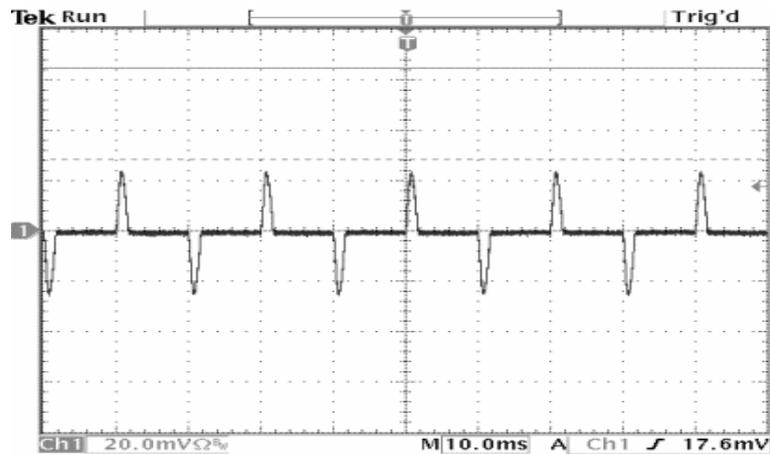


(图九) 间谐波为 30.85Hz 时的电流波形

由此可见,电压含间谐波成份时,再某些频率的确会对有主动式 PFC 的 power supply 产生影响. 虽尚未深入研究原因,但若设计不谨慎,没事先做过这类测试,可能未来实际应用时,会产生损坏.

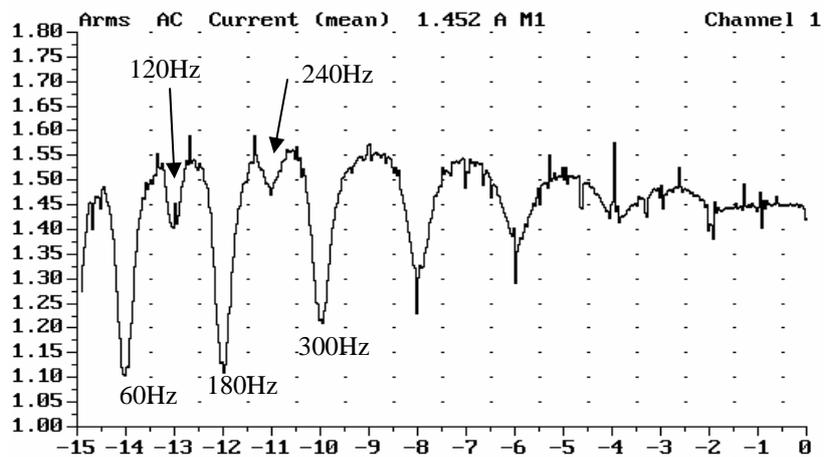
B. 测试无 PFC, 单纯用桥式整流的 power supply: 基本测试设定为 220V, 60Hz.

输出未含间谐波时, 加载后量测输出为 $I=1.08\text{A}$, $P=121\text{W}$. 电流波形如下(图十), 为有规律的周期波.



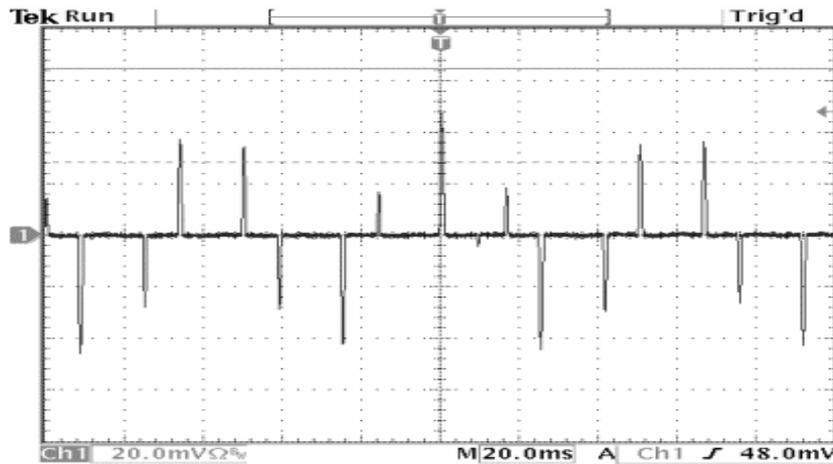
(图十) 无间谐波时的电流波形

在加上间谐波成分 5%, 并扫描由 1Hz 至 900Hz, 其电流会随扫描频率而改变, 如(图十一).



(图十一) 电流与间谐波频率关系图

再针对电流有明显增加点, 取 $F_i=257\text{Hz}$, $I=1.51\text{A}$, $P=123\text{W}$ 做更详细观察. 其电流波形呈不均衡(图十二).



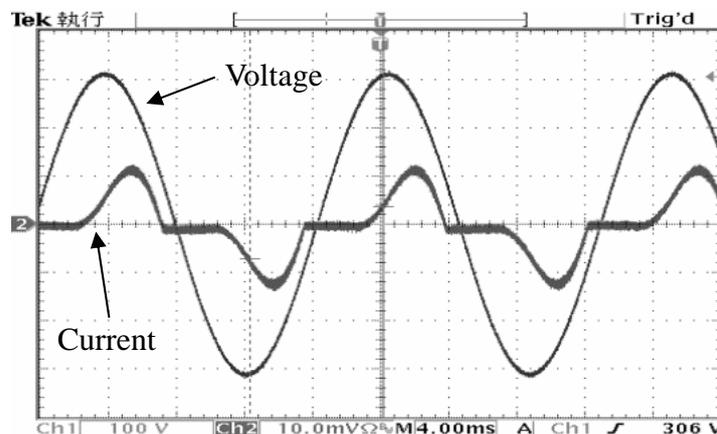
(图十二) 间谐波为 257Hz 时的电流波形

由观察以上关系图, 可推论到下列结果:

1. 当扫描频率为基频的倍数时, 输入电流会比较小. 其它频率时, 电流皆会比纯正弦波时大.
2. 若对照到输出电压波形, 可见到当迭加上的间谐波频率非基频的倍数频时, 会造成输出不规则的周期波.
3. 当电压波峰高低不规则时, 会造成电流充电不规则, 就会使 r.m.s. 电流增加. 以此例子: 输入 220V, 60Hz 时, 电流 $I=1.08\text{A}$, $P=121\text{W}$, 当加上 $\text{level} = 5\%$, $F_i=257\text{Hz}$ 的电压成份后, 变成 $I=1.51\text{A}$, $P=123\text{W}$. 输入电流增加了约 40%.
4. 所以电流路径所使用的零件应再谨慎考虑其规格, 以因应所需.

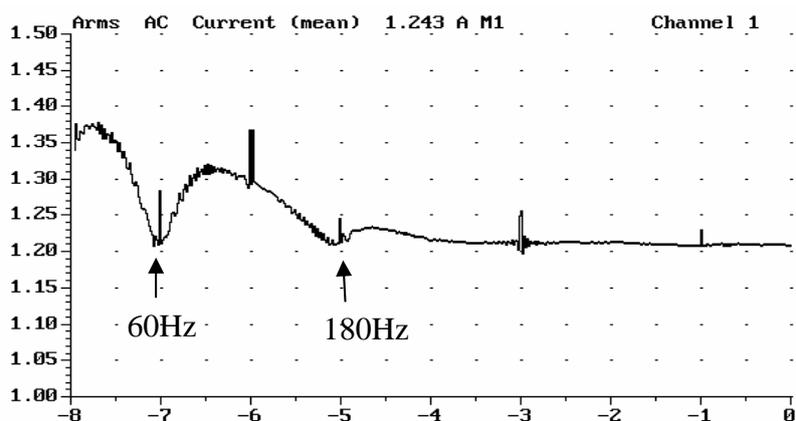
C. 测试被动式 PFC 的 power supply: 基本测试设定为 220V, 60Hz.

输出未含间谐波时, 拉载后量测输出为 $I=1.22\text{A}$, $P=221.9\text{W}$. 电压及电流波形如(图十三), 为有规律的周期波.



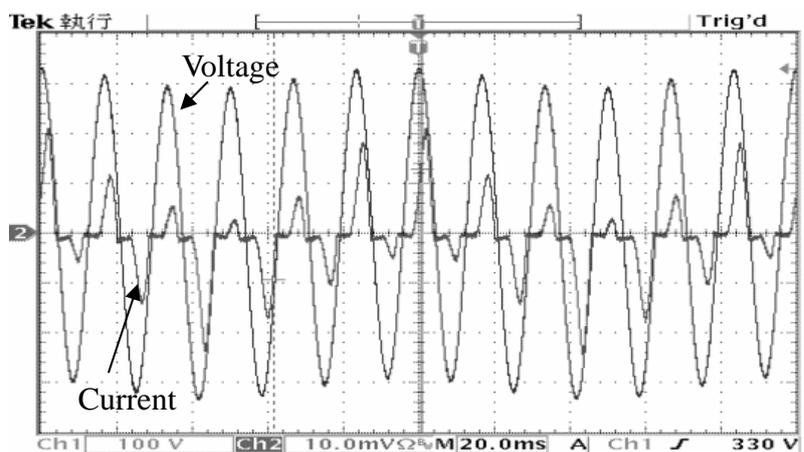
(图十三) 无间谐波时的电压与电流波形

在加上间谐波成分 7%，并扫描由 1Hz 至 480Hz，其电流会随扫描频率而改变，如(图十四)。



(图十四) 电流与间谐波频率关系图

再针对电流有明显增加点，取 $F_i=10\text{Hz}$, $I=1.38\text{A}$ ，做更详细观察。其电流波形呈不均衡如(图十五)



(图十五) 间谐波为 10Hz 时的电压与电流波形

由观察以上各关系图，可推论到下列结果：

1. 当输入的 interharmonics 成份较低频时，会如同无 PFC 的 power supply，电压波峰高低不规则时，会造成电流充电不规则，就会使 r.m.s. 电流增加。此例由 1.22A 增加最大到 1.38A，约 13%。
2. 在 interharmonics 成份较高频时(>240Hz)，量测到的 r.m.s. 电流就恢复原来值，不会增加。推测是因输入端的电感，使高频电流会受到抑制，对电容充电就不会不规则了。

六、结论

有关交流电源中，若含有谐波或间谐波成分时，对电器会产生什么影响？虽然国际电子技术委员会制定的有关电磁兼容法规 IEC61000-4-13 中，有这类的测试项目。因还未被强制检验实施，另外可能一般的交流电源供应器，无法设定输出法规所要求的电压波形，所以一般厂商对此议题就忽略了。

这篇报告中，我们藉由 Chroma 致茂电子的 AC source 61500 系列的 SYN 功能和 INTERHAR 功能，除了可输出正常电压波形，可依法规 IEC61000-4-13 要求，输出含有谐波或间谐波成分的测试电压。将此电压测试了几种电源供应器，结果都发现有电流增加的情形，最高甚至增加了 57%。甚至在测试主动式 PFC 线路的 power supply 时，有不稳定的电流波形出现，原因值得探讨。

因日常使用环境下的交流电源几乎都会含有谐波或间谐波电压成份。建议在设计时，应经过此类的测试，以充分了解电路的特性。或在品保部门也应加测此项目，才能对电流路径使用零件的规格，电感及散热，做到真正验证的功能。