

变频空调电磁骚扰的整改思路及实例分析

方立勇, 韩冰冰, 万涛

(中国扬子集团滁州扬子空调器有限公司 滁州 239000)

摘要: 本文主要分析总结了变频空调 EMI 测试项目, 并提出了变频空调开发过程中的 EMI 测试整改常见问题和整改方法, 本文结合实际变频柜式空调的 EMI 测试整改实例, 详细描述了 EMI 测试整改中的骚扰源的定位方法和整改思路。

关键词: 变频空调; EMI 测试整改; 差模; 共模

RECTIFICATION THOUGHT AND EXAMPLE ANALYSIS OF INVERTER AIR CONDITIONER ELECTRO MAGNETIC INTERFERENCE

Fang Liyong, Han Bingbing, Wan Tao

(China Yangzi Group Chuzhou Yangzi Air Conditioner Co., Ltd., Chuzhou 239000)

Abstract This paper mainly analyzes and summarizes the EMI test project of frequency conversion air conditioning, and puts forward the common problems and rectification methods of EMI test rectification and rectification in the development process of frequency conversion air conditioning. This paper describes the positioning method and rectification thought of the harassment source in the EMI test and rectification in detail in combination with the actual example of the actual vertical chamber air-conditioner EMI test rectification.

Keywords Inverter air conditioner; EMI test rectification; Differential mode; Common mode

0 引言

空调能改善家居舒适性, 在家庭、商场、办公区域使用很普遍, 电器产品越来越多, 空调在满足基本功能外, 对其电磁兼容性提出了更高的要求。空调须在复杂的干扰信号下, 要能正常可靠的工作, 同时, 要求其空间及同电网的其他电器干扰 (EMI) 小, 以免在工作中影响其他设备的使用, 空调与一般的消费电子产品的 EMI 也不一样, 一般的消费电子属弱电高频器件, 而空调的工作频率一般不会很高, 但是强弱电共存, 所以在 EMI 处理上也不尽相同。定速空调由于部件大都工作在工频下, 相对来说, EMI 的整改难度不大, 而变频空调由于载波频率相对较高, EMI 改进难度较大, 成本较高。

影响变频空调的 EMI 因素很多, 同样, 清除这些影响的方法和手段也是多种多样。比如合适的电路和器件、良好的屏蔽层、优秀的板级走线、合理的空间走线和分布等等。但往往受成本和产品本身特性的制约, 以上方法不一定都可以尽情地使用在产品设计中, 比如: 为了消除变频功率因素校正 PFC 器件的开关干扰, 增加多级的线性滤波器, 这样做虽然可以有效的消除干扰, 但是相应的成本也就大大增加, 这对于现今竞争激烈的家电行业来说是不现实的; 同样, 为了消除空调变频压缩机的空间耦合辐射, 需要将电源线的线路远离变频压缩机等辐射源, 但整个空调外机走线的空间十分有限, 所以这样做也是有一定限度的。

本文结合一款变频空调的实际 EMI 测试、改进, 描述了通过不同的方案尝试, 采用较低成本快速地解决此款变频空调 EMI 的问题过程, 旨在提出一种变频空调 EMI 分析改进思路, 在变频空调的 EMI 分析整改方法上进行总结, 以供在后续的变频空调产品开发和 EMI 测试整改中提供参考。

1 电磁兼容概述及重要性

1.1 概述

EMC (Electro Magnetic Compatibility, 中文解释为电磁兼容) 是指电子、电气设备或系统在预期的电磁环境中, 按设计要求正常工作的能力; 包括两个方面: EMI (Electro Magnetic Interference-电磁干扰性能, 俗称电磁骚扰) 和 EMS (Electro Magnetic Susceptibility-电磁抗扰度性能), EMI 测试的是设备对

电网的干扰，包括传导、辐射、谐波等，EMS测试的是设备抵抗外围干扰信号的能力，包括ESD-抗静电测试，EFT-电源端电快速脉冲群测试、浪涌和雷击等；

1.2 重要性

电磁干扰是一种环境污染，会对生活环境以至人类本身构成不良影响，甚至造成直接的危害，而且，它看不见摸不着，只能通过专用设备方可测试到它们的存在，电磁干扰大时会使电器设备失常，无法工作。不同国家或地区对在本区域销售的电器均有相应的EMC测试标准，产品必须符合这些标准方能在该区域销售，目前EMI是3C强制性认证项目。

2 空调EMI测试项目、常见问题及相应整改方法

2.1 空调电磁骚扰EMI测试项目

标准	试验项目	参数和规定				
GB4343.1-2009	端子骚扰电压 Terminal disturbance Voltage	频率范围 MHz	电源端子 dBuV		负载端子 dBuV	
			QP	AV	QP	AV
		0.15-0.5	66-56	59-46	80	70
	0.5-5	56	46	74	64	
	5-30	60	50	74	64	
	断续骚扰 CLICK	CLICK 是指单个脉冲持续时间小于 200ms, 间隔时间大于 200ms, 干扰值超过连续骚扰限值。N 代表 CLICK 率。记录 40 个 CLICK 或 120min, 计算 N。N < 0.2 时 限值=L+44dB; 0.2 ≤ N ≤ 30 时 限值=L+20lg30/N, 上四分法: 若记录的超过 CLICK 限值的数目不多于 CLICK 总数的四分之一, 则合格。				
	骚扰功率 Disturbance power (含连接线两个方向)	频率范围 MHz	限值 dBpW			
			QP	AV		
		30-300	45-55	35-45		
GB 17625.1-2012	谐波 电流 (A类) Harmonic current Class A	奇次谐波	限值 (A)	偶次谐波	限值 (A)	
		3	2.30	2	1.08	
		5	1.14	4	0.43	
		7	0.77	6	0.30	
		9	0.40	8 ≤ n ≤ 40	0.23*8/n	
		11	0.33			
		13	0.21			
15 ≤ n ≤ 39	0.15*15/n					
GB 17625.2-2007	电压波动与 闪烁 Flicker (不大于 16A)	电压波动		限值		
		相对电压变化特性 d(t)		500ms		
		最大相对电压变化 dmax		≤ 6%		
		相对稳态电压变化 dc		≤ 3.3%		
		注: d(t) 限值的定义: 在 dt 大于 3.3% 时, 其持续时间不能大于 500ms				
		闪烁		限值		
		短期闪烁 Pst		1.0		
		长期闪烁 Plt		0.65		

2.2 变频空调EMI 测试常见问题及整改措施

变频空调EMI测试中容易出现问题的测试项目是传导和辐射，该部分问题的解决原则：先通过排查找找到干扰源，再对干扰源处理、如引线增加磁环、增加吸收回路等，对干扰进行隔离阻断，减少对外电网的影响。排查时可先将空调处于待机状态，再分别开启内外机，还可以对室外机负载逐个开启，然后对电源端进行扫频测试，以便确认骚扰源、缩小排查的范围，但导致EMI超标的原因往往很复杂，有时也会相互作用、叠加，需要仔细排查。

对于传导来说，测试频段为150KHz到30MHz间，空调电源端对电网的影响，一般来说，1MHz以内，以差模干扰为主，主要通过增大X电容量和差模电感来解决；1MHz-5MHz，差模共模混合，采用输入端并联一系列X电容来滤除差模干扰并分析出是哪种干扰超标并加以解决，①对于差模干扰超标可调整X电容量，添加差模电感器，调差模电感量；②对于共模干扰超标可添加共模电感和磁环、选用合理的电感量来抑制；5M以上，以共模干扰为主，采用抑制共模的方法；20-30MHz，①对于一类产品可以采用调整对地Y2电容量或改变Y2电容位置；②调整开关变压器一二次侧间的Y1电容位置及参数值；③在输出整流管或PFC电路的FRD两端并联RC滤波器且调整合理的参数；但Y电容值不能选得过大，必须保证空调整机漏电流值在安规要求的范围内，该点需要测试确认；

对于辐射来说，测试频段在30MHz到300MHz间，空调电源线、通讯线或室内外连接线上辐射出来的干扰对电网的影响，该部分干扰主要通过空间辐射，变频空调的辐射干扰多出现在30-50MHz，普遍是MOS管、IPM和IGBT高速开通关断引起的。常用措施有：①可以用增大PFC电路上的IGBT驱动电阻；②开关电源RCD缓冲电路采用1N4007慢管；③电源芯片VCC供电电压用1N4007慢管来解决；而在50-100MHz频段，普遍是输出整流管反向恢复电流引起的。①可以在整流管上串磁珠或采用1N4007等慢管；②调整输出整流管和PFC回路上FRD的吸收电路参数；而200MHz以上，基本辐射量很小，一般可过EMI标准。

在对空调整机进行各环节测试后，如在某个环节上更改了走线、布局或元件参数，须对其他项再进行重新测试，因为各环节测试的频段均不一样，有时在通过了其中一环节后会影响到其他测试，比如通过传导测试后，辐射又不过，或者反之。

3 整改实例

在一款50变频柜机开发定型时，委托3C认证测试中，发现骚扰功率超标，我部技术人员随即到测试机构进行整改。

3.1 原始测试数据

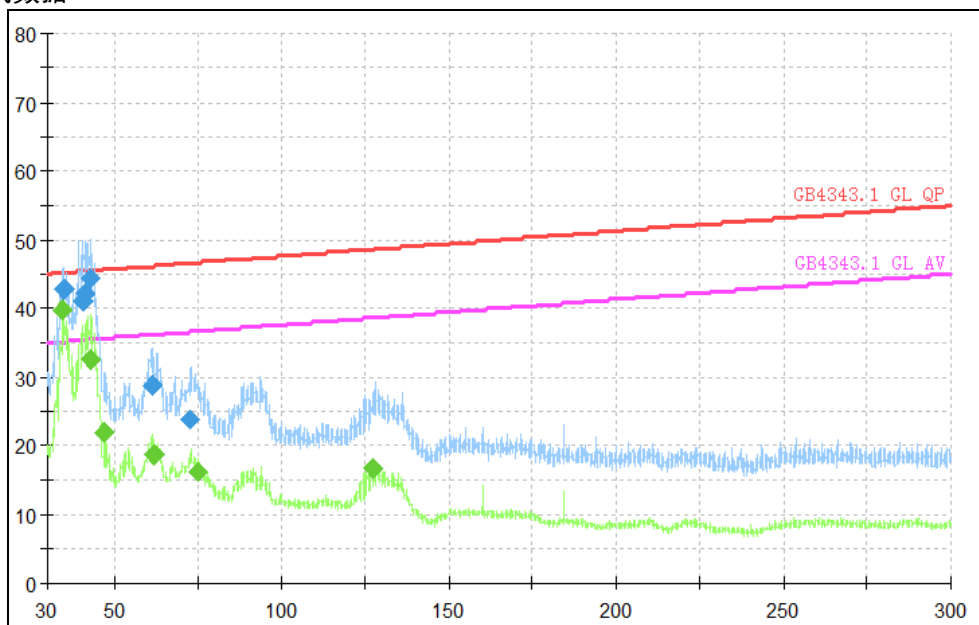


图1 骚扰功率原始测试数据

3.2 分析干扰源

首先确定骚扰源，然后才能针对性的改进。我们首先在只开室内机送风模式，外机不开的情况，测得结果如图2所示，结果合格。

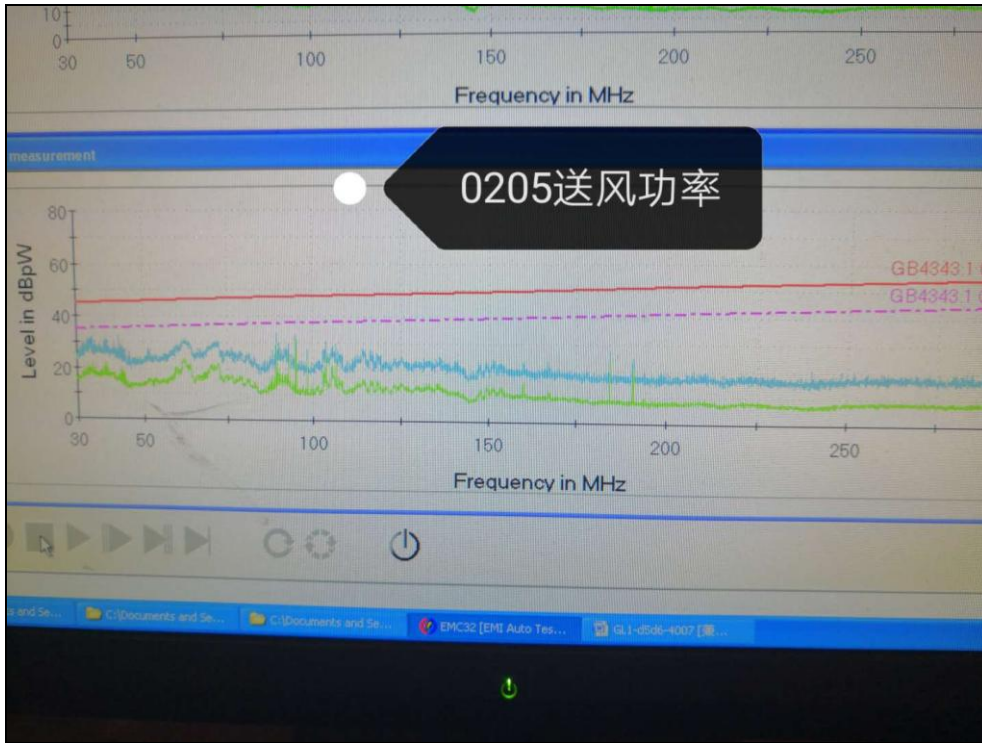


图2 送风模式的骚扰功率

由此分析问题不在室内机部分，而是在外机部分；

在外机电路上进行改进尝试，更改Y电容、更改IGBT驱动电阻、FRD吸收电容（图3）、开关电源RCD回路更改慢管（图4）等，效果不明显，如图5所示：

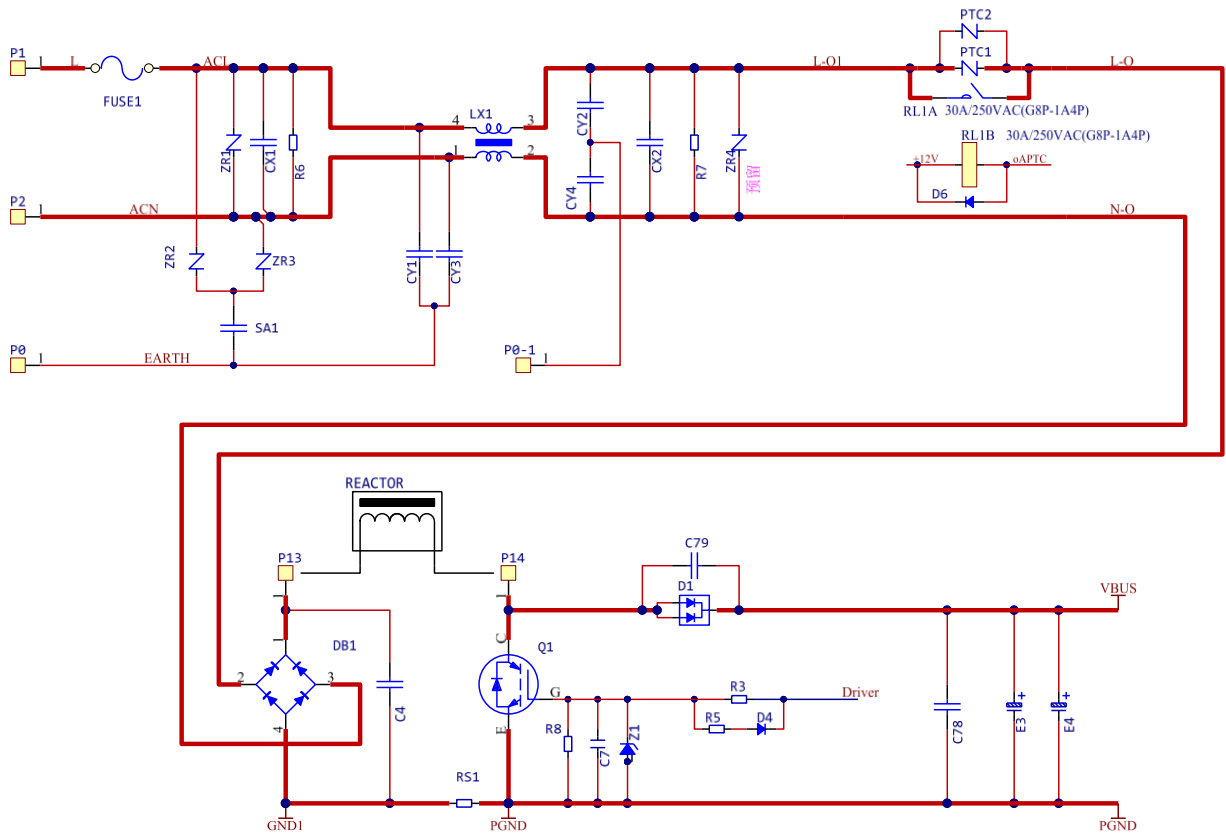


图3

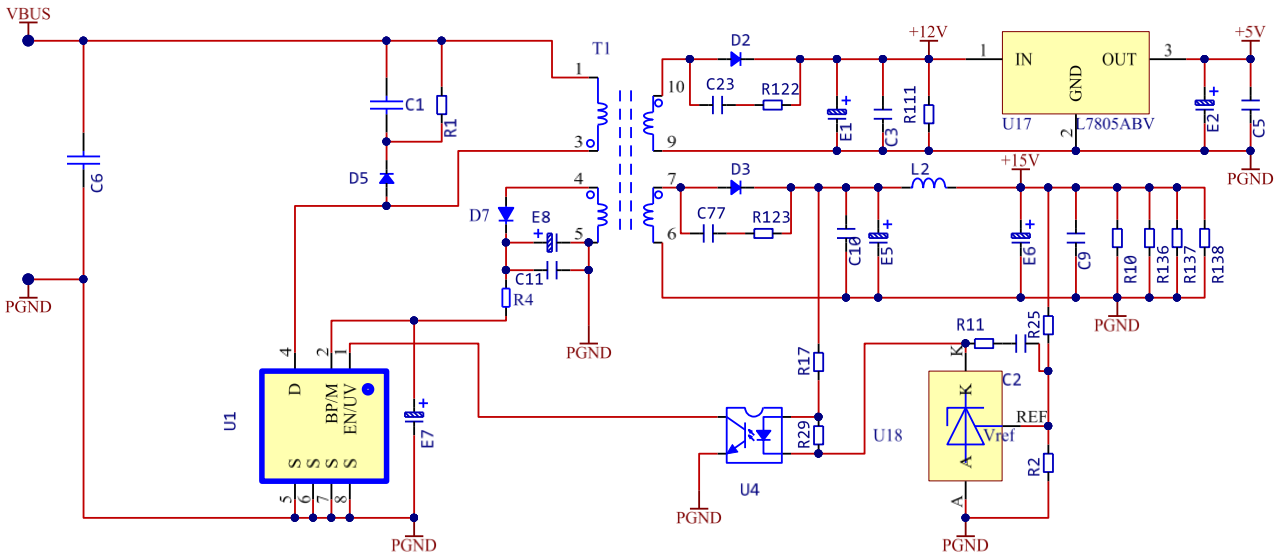


图4

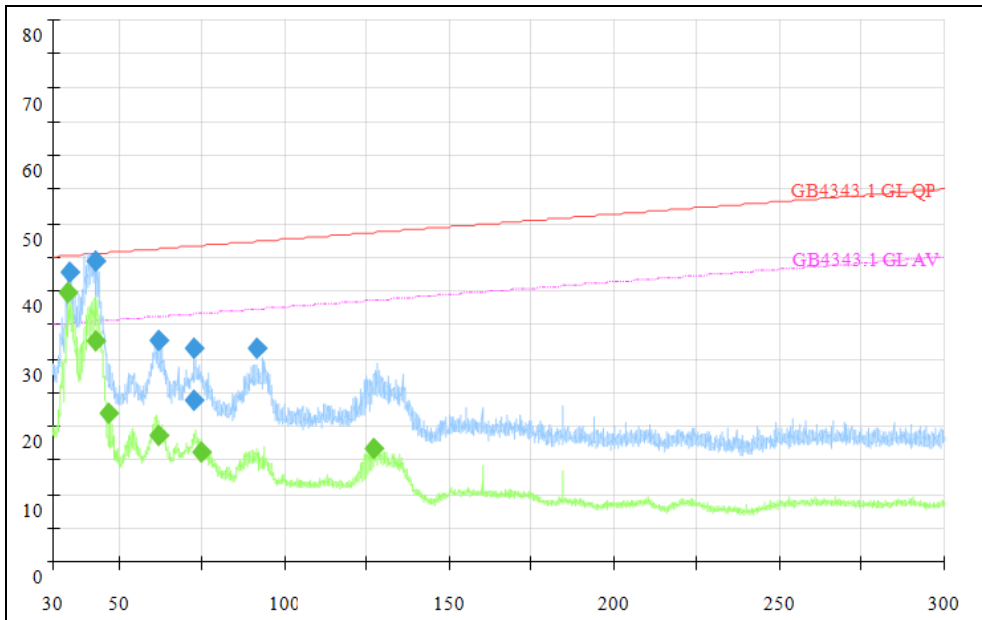


图5

在外板电源进线、电抗器引线、压缩机引线上增加磁环等效果也无明显改善，整改一时陷入困境，在之后的重复测试，某次测试忽然合格了。赶忙查找差别，发现在开室内机摆风的情况下，骚扰功率不合格，而在室内机不开摆风的情况下，就合格了；反复测试，确实如此；但是在单开送风模式的情况下，摆风开与不开差别不大，都是合格的且余量充足；

该机型所用摆风电机为两个步进电机，参数如图6所示：

电压	电阻 (25℃)	步距角	减速比	牵入转矩	自定位转矩	空载牵入频率	空载牵出	绝缘电阻	温升	噪音	绝缘介电强度
DC, V	Ω/相±7%	°/步		mN.m	mN.m	Hz	频率Hz	DC, 500V	K	dB(A)	AC, 600V 1m 1S
12	110	7.5°/步	1/35	≥147	≥53.9	≥550	≥800	≥100MΩ	≤38	≤40	无击穿、飞弧

图6 步进电机参数

此步进电机采用4相8拍方式控制，每相电阻110Ω，步进电机瞬间最大电流为：

$$12 / (110 * (1 - 7\%)) * 2 * 2 = 469\text{mA}$$

分析原因应该是在摆风步进电机开启后，室内开关电源负载加重，辐射能量加大，在外机开机的情况下，能量通过室内外连接线叠加辐射出去，引起骚扰功率不合格；

分析室内开关电源电路，通过将RCD中的D6和开关电源芯片供电二极管D5改为慢管IN4007，功率测试

合格。

GB4343.1 GL

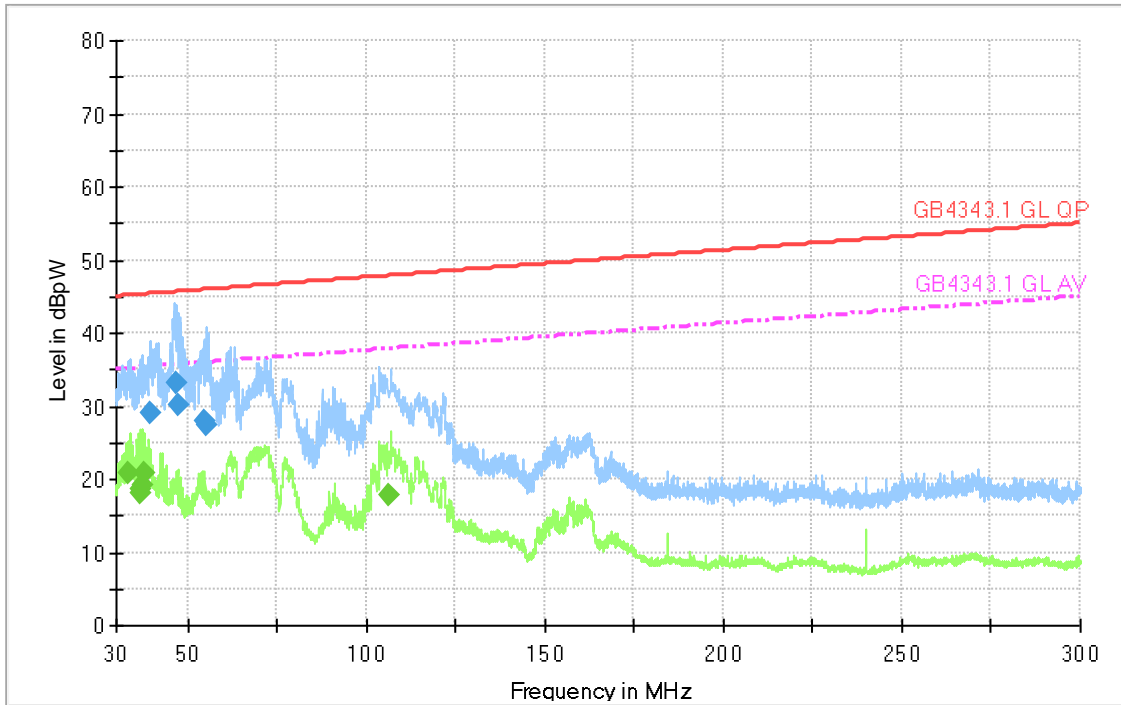


图7 制冷骚扰功率

Final Result 1

Frequency (MHz)	QuasiPeak (dBpW)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Slide bar position (cm)	Corr. (dB)	Margin (dB)	Limit (dBpW)	Comment
39.660000	29.01	1.00	120.000	185.00	8.92	16.40	45.40	
46.560000	33.06	1.00	120.000	126.00	5.22	12.60	45.60	
47.220000	30.25	1.00	120.000	139.00	5.30	15.40	45.60	
54.960000	28.03	1.00	120.000	1.00	5.92	17.90	45.90	
55.260000	27.29	1.00	120.000	5.00	5.91	18.60	45.90	

表1 制冷骚扰功率准峰值

Final Result 2

Frequency (MHz)	Average (dBpW)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Slide bar position (cm)	Corr. (dB)	Margin (dB)	Limit (dBpW)	Comment
33.600000	20.87	1.00	120.000	224.00	8.54	14.30	35.10	
36.840000	18.09	1.00	120.000	1.00	8.93	17.20	35.30	
36.960000	18.50	1.00	120.000	185.00	8.93	16.80	35.30	
37.260000	19.06	1.00	120.000	39.00	8.93	16.20	35.30	
37.620000	20.76	1.00	120.000	240.00	8.93	14.50	35.30	
106.080000	17.89	1.00	120.000	101.00	3.21	19.90	37.80	

表2 制冷骚扰功率平均值

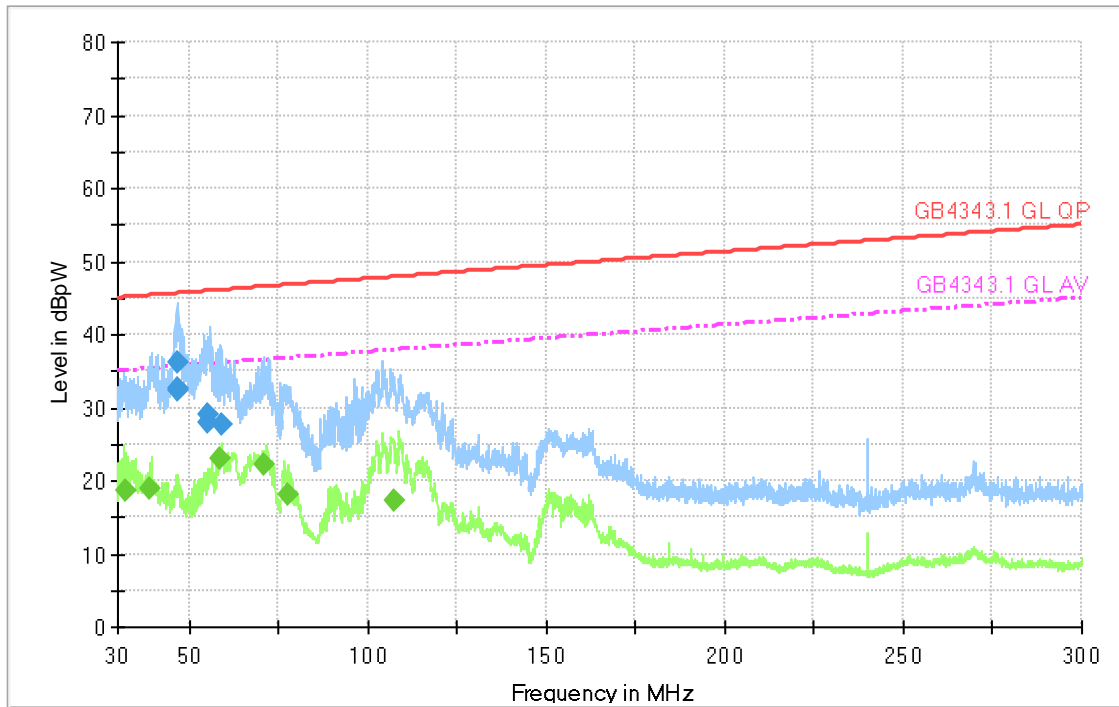


图8 制热骚扰功率

Final Result 1

Frequency (MHz)	QuasiPeak (dBpW)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Slide bar position (cm)	Corr. (dB)	Margin (dB)	Limit (dBpW)	Comment
46.620000	32.53	1.00	120.000	125.00	5.23	13.10	45.60	
46.740000	32.38	1.00	120.000	121.00	5.24	13.20	45.60	
46.980000	36.14	1.00	120.000	59.00	5.27	9.50	45.60	
55.380000	28.95	1.00	120.000	1.00	5.90	17.00	45.90	
55.500000	27.99	1.00	120.000	7.00	5.90	18.00	45.90	
58.920000	27.80	1.00	120.000	178.00	5.74	18.30	46.10	

表3 制热骚扰功率准峰值

Final Result 2

Frequency (MHz)	Average (dBpW)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Slide bar position (cm)	Corr. (dB)	Margin (dB)	Limit (dBpW)	Comment
32.160000	18.75	1.00	120.000	6.00	8.12	16.30	35.10	
39.000000	18.84	1.00	120.000	180.00	8.92	16.50	35.30	
58.560000	23.09	1.00	120.000	179.00	5.75	13.00	36.10	
70.740000	22.21	1.00	120.000	10.00	6.13	14.30	36.50	
77.700000	17.97	1.00	120.000	144.00	5.12	18.80	36.80	
107.700000	17.28	1.00	120.000	108.00	3.19	20.60	37.90	

表4 制热骚扰功率平均值

重新测试骚扰电压、谐波等都能符合要求，这个实例也充分说明了EMI骚扰源定位的复杂性。

GB4343.1 DY

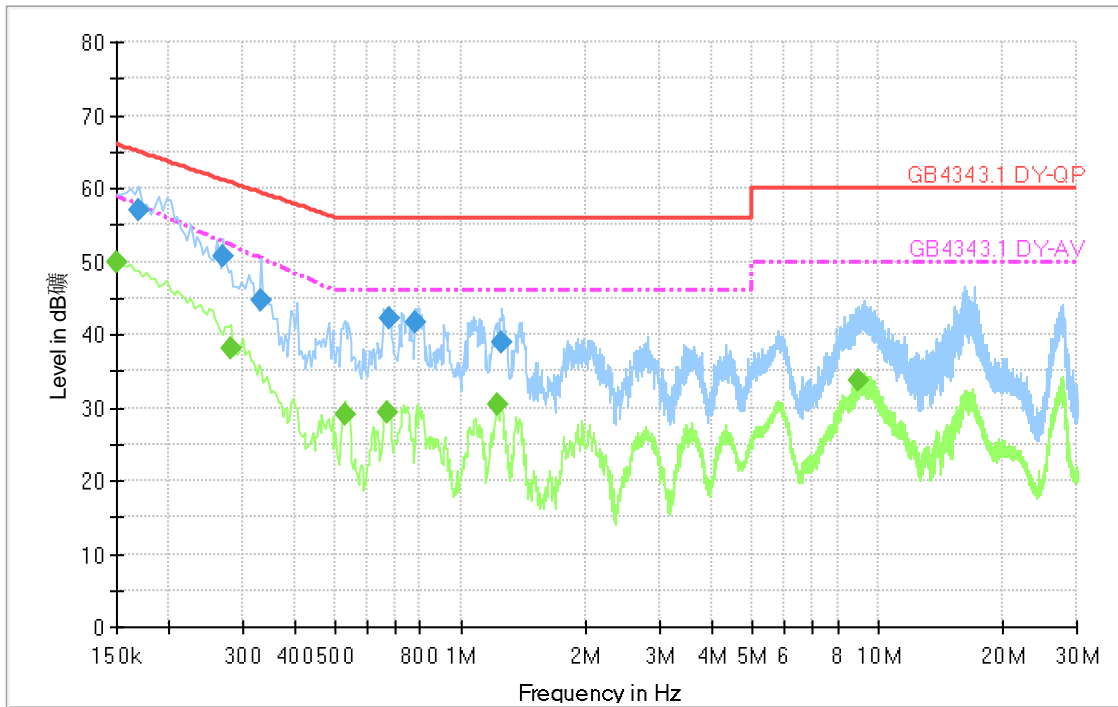


图9 骚扰电压 电源端子

Final Result 1

Frequency (MHz)	MaxPeak (dB μ V)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Filter	Line	Corr. (dB)	Margin (dB)	Limit (dB μ V)	Comment
0.170000	57.06	15.00	9.000	Off	N	10.07	7.90	65.00	
0.270000	50.61	15.00	9.000	Off	L1	10.09	10.50	61.10	
0.334000	44.59	15.00	9.000	Off	N	10.08	14.80	59.40	
0.674000	42.23	15.00	9.000	Off	N	10.11	13.80	56.00	
0.778000	41.59	15.00	9.000	Off	L1	10.09	14.40	56.00	
1.254000	39.01	15.00	9.000	Off	L1	10.10	17.00	56.00	

表5 骚扰电压 电源端子准峰值

Final Result 2

Frequency (MHz)	Average (dB μ V)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Filter	Line	Corr. (dB)	Margin (dB)	Limit (dB μ V)	Comment
0.150000	49.74	15.00	9.000	Off	N	10.08	9.30	59.00	
0.282000	37.98	15.00	9.000	Off	L1	10.09	14.20	52.20	
0.530000	29.00	15.00	9.000	Off	L1	10.09	17.00	46.00	
0.670000	29.35	15.00	9.000	Off	L1	10.09	16.60	46.00	
1.226000	30.41	15.00	9.000	Off	N	10.08	15.60	46.00	
9.006000	33.75	15.00	9.000	Off	N	10.14	16.30	50.00	

表6 骚扰电压 电源端子平均值

GB4343.1 FZ

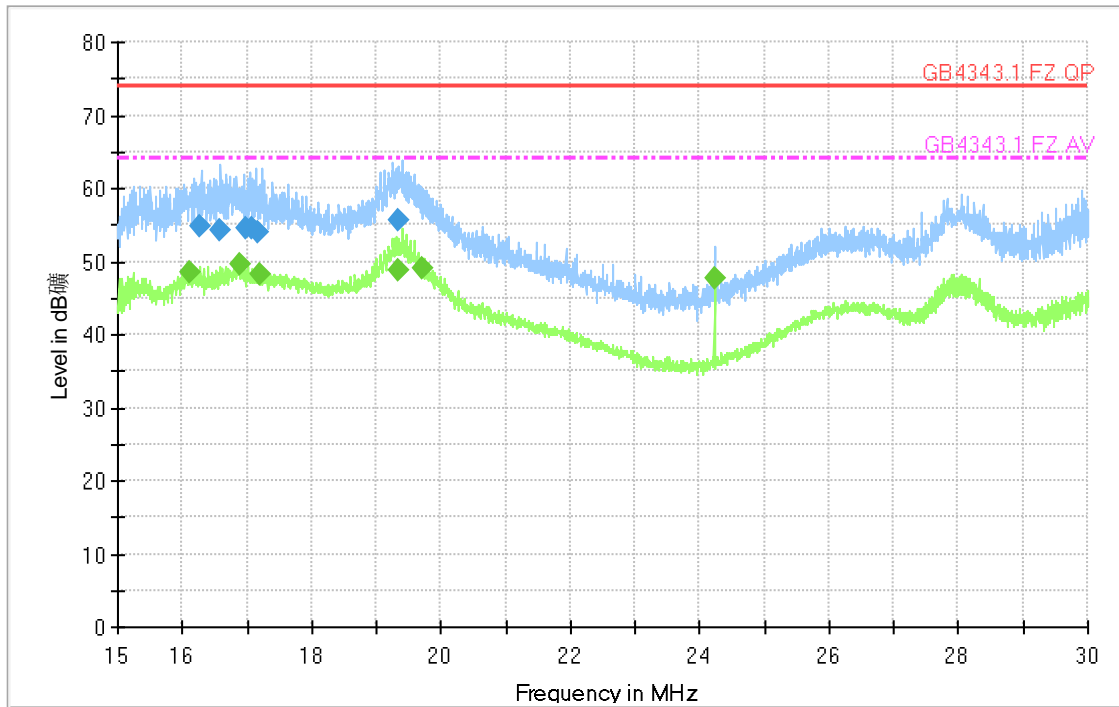


图10 骚扰电压 负载端子

Final Result 1

Frequency (MHz)	QuasiPeak (dB μ V)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Corr. (dB)	Margin (dB)	Limit (dB μ V)	Comment
16.278000	54.88	15.00	9.000	38.23	19.10	74.00	
16.578000	54.34	15.00	9.000	38.28	19.70	74.00	
16.998000	54.48	15.00	9.000	38.35	19.50	74.00	
17.066000	54.51	15.00	9.000	38.36	19.50	74.00	
17.178000	53.85	15.00	9.000	38.38	20.20	74.00	
19.326000	55.70	15.00	9.000	38.70	18.30	74.00	

表7 骚扰电压 负载端子准峰值

Final Result 2

Frequency (MHz)	Average (dB μ V)	Meas. Time (ms)	Bandwidth (kHz)	Corr. (dB)	Margin (dB)	Limit (dB μ V)	Comment
16.122000	48.41	15.00	9.000	38.20	15.60	64.00	
16.878000	49.47	15.00	9.000	38.33	14.50	64.00	
17.190000	48.26	15.00	9.000	38.38	15.70	64.00	
19.334000	48.79	15.00	9.000	38.71	15.20	64.00	
19.726000	48.95	15.00	9.000	38.76	15.10	64.00	
24.230000	47.79	15.00	9.000	39.57	16.20	64.00	

表8 骚扰电压 负载端子平均值

Average harmonic current results

Hn	Ieff [A]	% of Limit	Limit [A]	Result
1	10.161			
2	27.478E-3	1.106	2.48	PASS

3	993.408E-3	18.779	5.29	PASS
4	16.281E-3	1.646	989.00E-3	PASS
5	306.830E-3	11.702	2.62	PASS
6	14.387E-3	2.085	690.00E-3	PASS
7	176.917E-3	9.990	1.77	PASS
8	12.026E-3	2.273	529.00E-3	PASS
9	87.612E-3	9.523	920.00E-3	PASS
10	10.929E-3	2.583	423.20E-3	PASS
11	62.475E-3	8.231	759.00E-3	PASS
12	11.048E-3	3.133	352.66E-3	PASS
13	42.447E-3	8.788	483.00E-3	PASS
14	10.540E-3	3.487	302.29E-3	PASS
15	42.793E-3	12.404	345.00E-3	PASS
16	10.504E-3	3.971	264.50E-3	PASS
17	30.317E-3	9.959	304.40E-3	PASS
18	10.559E-3	4.491	235.11E-3	PASS
19	21.593E-3	7.928	272.37E-3	PASS
20	10.445E-3	4.936	211.60E-3	PASS
21	20.607E-3	5.575	369.63E-3	PASS
22	10.633E-3	5.527	192.37E-3	PASS
23	21.191E-3	6.279	337.51E-3	PASS
24	10.682E-3	6.058	176.32E-3	PASS
25	31.976E-3	10.298	310.50E-3	PASS
26	10.966E-3	6.737	162.77E-3	PASS
27	26.402E-3	9.184	287.49E-3	PASS
28	11.438E-3	7.568	151.13E-3	PASS
29	23.681E-3	8.847	267.69E-3	PASS
30	12.004E-3	8.510	141.06E-3	PASS
31	45.277E-3	18.082	250.40E-3	PASS
32	12.285E-3	9.289	132.25E-3	PASS
33	55.902E-3	23.766	235.22E-3	PASS
34	13.234E-3	10.632	124.48E-3	PASS
35	30.095E-3	13.569	221.80E-3	PASS
36	13.756E-3	11.702	117.55E-3	PASS
37	35.098E-3	16.730	209.79E-3	PASS
38	14.074E-3	12.638	111.37E-3	PASS
39	27.256E-3	13.694	199.03E-3	PASS
40	14.679E-3	13.874	105.80E-3	PASS

表9 谐波

4 总结

本文介绍的EMC整改方法是通过长期EMI测试验证而得来的,适用于各类空调EMC测试;从本文的实际测试整改也可以看出来,电磁骚扰的原因很复杂,需要不同的方案,而针对某个频段的骚扰,有时可以通过多个手段都可以解决,但往往成本差距较大,如何能准确找到干扰源?如何用较低的成本去解决EMI问题?

值得我们每个技术人员深思，本文提供的整改实例，旨在抛砖引玉，为变频空调设计及EMI测试整改技术人员提供一个参考，在变频空调的EMI测试整改中能开拓思路，从多维度考虑EMI解决方案，尽可能以低成本解决变频空调的EMI问题。

参考文献

- [1] 郑军奇，编著，EMC(电磁兼容)设计与测试案例分析，电子工业出版社，2006
- [2] 钱振宇，编著，3C认证中的电磁兼容测试与对策，电子工业出版社，2004