

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.01.014

带有刷直流电机的家电产品骚扰 功率应对策略^{*}

林 淼¹, 黄永福¹, 何光平²

(1. 福建出入境检验检疫局技术中心, 福建 福州 350003;

2. 厦门出入境检验检疫局技术中心, 福建 厦门 361022)

摘要:针对带有刷直流电机的家电产品因电机换向而引起电磁兼容项目骚扰功率测试不合格问题,分析了电机换向时火花的成因,指出了当前电子滤波理论设计在抑制骚扰功率时的局限性以及建立电机骚扰功率电路模型的复杂性。综合考虑了骚扰功率测试时遇到的多种场合下的频点和测试幅值超标情况,提出了相对应的控制策略,并对控制策略进行了理论分析。最后,通过实际试验给出了采用该策略后家电产品骚扰功率抑制的改善效果。研究表明,通过采用所提出的控制策略对家电产品设计人员快速、有针对性地改进电机电磁兼容设计、降低骚扰辐射具有指导作用。

关键词:有刷直流电机;骚扰功率;抑制措施;高频特性

中图分类号:TH39;TM331

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)01-0073-05

Adaptive strategies on reducing disturbance power for household appliances with brush DC motor

LIN Miao¹, HUANG Yong-fu¹, HE Guang-ping²

(1. Technique Centre of Fujian Entry-exit Inspection & Quarantine Bureau, Fuzhou 350003, China;

2. Technique Centre of Xiamen Entry-exit Inspection & Quarantine Bureau, Xiamen 361022, China)

Abstract: Aiming at the problem of disturbance power EMC test for household appliances with brush DC motor failing as a result of motor commutation, the spark existing during commutating was investigated. The limitation of electronic filter theory on reducing disturbance power and difficulty for establishing motor interference circuit model were pointed out. After considering disturbance power test failing on multiple occasions comprehensively, relevant adaptive strategies on reducing disturbance power were presented and analyzed. At last, the improvement on reducing the disturbance power for household appliances was verified after the practical test. The results indicate that it has a guidance on improving EMC characteristic and reducing electromagnetic interference of DC motor for R&D personnel after adopting these adaptive strategies.

Key words: brush DC motor; disturbance power; reducing methods; high frequency characteristic

0 引 言

骚扰功率是家电产品电磁干扰测试(EMI)的一项强制性考核项目,测试频段为 30 MHz ~ 300 MHz 甚高

频段^[1]。带有刷直流电机的家电产品因电机换向引起的火花极易导致其在 EMI 测试时不合格。而直接抑制电机火花非常复杂,因为换向火花的形成包含有电磁、机械和化学方面等诸多因素。当前家电产品骚

收稿日期:2015-07-13

基金项目:国家质量监督检验检疫总局科技计划项目(2012IK086)

作者简介:林 淼(1968-),男,福建福州人,高级工程师,主要从事家电产品电磁兼容检测和抑制处理方面的研究. E-mail:fjciq@163.com

扰功率抑制方面的研究较少,现有研究主要集中于对个别产品,先列出某款产品超标的骚扰功率测试曲线,然后给出该产品一个抑制措施,最终测试通过,研究对象和抑制处理方式过于片面。

本研究首先分析骚扰功率抑制方面存在的复杂性,基于铁氧体磁环、三端电容、陶瓷电容等常用滤波器件的高频特性及其在骚扰抑制方面的应用情况展开分析,综合给出骚扰功率抑制的 9 项控制策略,这些策略包含骚扰功率测试时可能出现的局部个别频点测试超标甚至是 30 MHz ~ 300 MHz 全频段测试超标时相对应的具体抑制处理措施,并对抑制措施进行理论分析,最终通过抑制前、后的实验波形对比,直观显示出抑制效果。

1 直流电机电磁干扰形成分析

有刷直流电机具有机械特性好、控制简单、成本低廉等优点,在家电产品中得到广泛应用,如电吹风、按摩器、搅拌器上的电机。但有刷直流电机自身带有碳刷和换向器,工作时电枢转动,电刷将相邻的换向片短路,导致参加换向的电枢线圈短路,回路流过短路电流。在换向运转瞬间,后刷边离开换向片转向相邻换向片时,有电磁能量储存于换向元件内,在前个换向片离开电刷时,换向回路被突然切断,换向元件中的电磁能量通过击穿空气释放,产生换向火花,使换向区域附近的空气介质电离,在空气中形成带电粒子,从而形成高频电磁干扰^[2],造成家电产品 EMI 测试项目骚扰电压和骚扰功率超过限值要求。

2 骚扰功率抑制的复杂性分析

骚扰电压抑制相对简单,测试频率为 150 kHz ~ 30 MHz。该频段电磁干扰的耦合途径主要是通过电源线传导产生。典型的骚扰电压抑制是在回路中串接共模扼流圈以及在电源回路与地回路间并联 Y 电容来消除电源线上的共模骚扰信号,而电源线上的差模骚扰信号则通过供电电源线间并联的 X 电容来抑制。

但骚扰功率的抑制相对复杂,这主要是由于:

(1) 骚扰功率的电磁耦合途径除了有电源线传导耦合外,还有空间辐射耦合。

(2) 骚扰功率测试时,换向火花产生的骚扰信号一般波形包络大,频域宽。某 220 V 直流推拿电机骚扰功率测试波形如图 1 所示(图中,曲线上方为峰值扫频波形,曲线下方为平均值扫频波形,下同)。

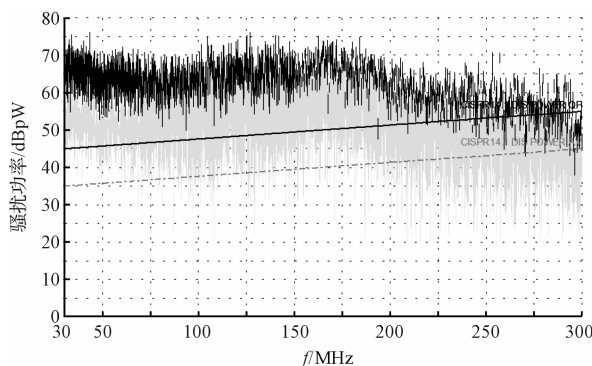


图 1 220 V 直流推拿电机骚扰功率测试波形

(3) 在 30 MHz ~ 300 MHz 甚高频段,骚扰抑制器件(如电感、电容等)的引线电感、分布电容等已显著影响到器件的特性。如常见的引线型多层陶瓷电容,在甚高频段,当工作频率超过其自谐振频点(SRF)时,该电容将由容性转为感性^[3]。同时,传统滤波理论构建出的滤波器(如巴特沃斯、贝塞尔等滤波器^[4])都需要精确计算出电路拓扑结构中的电容、电感、电阻数值。但在骚扰功率测试的甚高频内,任一器件都包含有寄生参数,电气特性随频率变化而显著变化,器件的电气等效模型异常复杂。因此,在未考虑器件的高频特性下,使用滤波器设计理论构建出的滤波电路很难达到预期的抑制效果。

国外 EMI 工程师常把骚扰功率的滤波电路称之为“Black magic”^[5]。主要原因如下:①所需的测量设备(如网络分析仪或接收机)购买成本高,且测量往往还面临重复性差等问题;②高频时,输入和输出阻抗不恒定,如对磁性材料,磁导率随频率变化而出现非线性变化^[6];③高频时滤波电路的插入损耗随频率不断变化。当前各种研究结果给出的建模过程也仅局限于 150 kHz ~ 30 MHz 传导骚扰方面。例如,重庆大学汪泉弟博士等人^[7-8]提出了在考虑电机绕组不对称性问题同时忽略电刷换向时电压脉动下 0.15 MHz ~ 108 MHz 电机骚扰电压 EMI 模型;Kahoul R. 等人^[9]提出了在计入电机密度、电压和速度后,基于诺顿等效电路构建了 100 kHz ~ 108 MHz 骚扰电压模型电路。但对骚扰功率的抑制尚无法通过构建模型并精确理论计算来实现,更多是需要工程经验。

3 骚扰功率实验与抑制策略分析

直流电机骚扰功率最有效的抑制措施是在电机内部,在换向器部位直接加入骚扰抑制器件,但由于电机内部空间小、电机不易拆解复原等原因,使得家

电厂商在骚扰功率抑制处理上只能在电机外围采取抑制措施。虽然骚扰功率精确滤波电路难以设计,但仍可遵循一些策略来实现骚扰抑制,主要应遵循以下策略:

(1)对于 100 MHz 以上骚扰功率抑制,可考虑在电源线缠绕 Ni-Zn 铁氧体磁环或多孔磁珠。采用磁环或磁珠抑制,有望将 100 MHz 以上骚扰测试值抑制 15 dB(pW) 以上。这主要是由于缠绕磁环或磁珠相当于在线路中串入吸收式滤波器件。低频时,磁环和磁珠阻抗低,不影响工作电流传输;但高频时,由于工作频率超过磁芯截止频率,磁芯损耗增大,高频干扰信号以热能形式吸收耗散。例如,一款 220V 直流减速电机初始状态骚扰功率测试波形如图 2 所示。

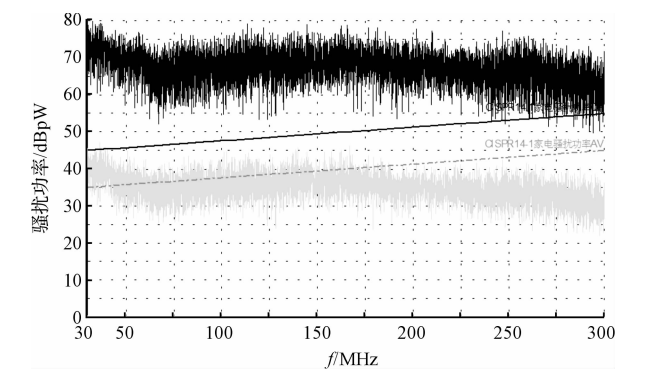


图 2 220 V 直流减速电机初始状态骚扰功率测试波形

使用 TDK 铁氧体磁环在电机电源线上绕 3 圈,测试波形如图 3 所示。

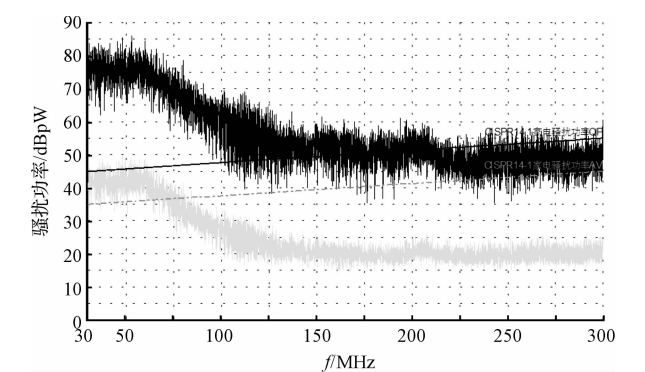


图 3 220 V 直流减速电机接 TDK 磁环后骚扰功率测试波形

(2)对于 100 MHz 以下,缩短电容器件引脚长度能够改善抑制效果。这是因为缩短电容引脚长度能够降低引线电感,增加电容 SRF,电容高频特性得以改善。例如,在某 220 V 直流减速电机正负极供电回路和电机外壳间各接入一个 102 陶瓷电容后的骚扰功率测试波形如图 4、图 5 所示,但图 4 中电容引脚长为 18 mm,而图 5 中电容引脚缩至 5 mm。

(3)若要求在 30 MHz ~ 300 MHz 整个频段都须进

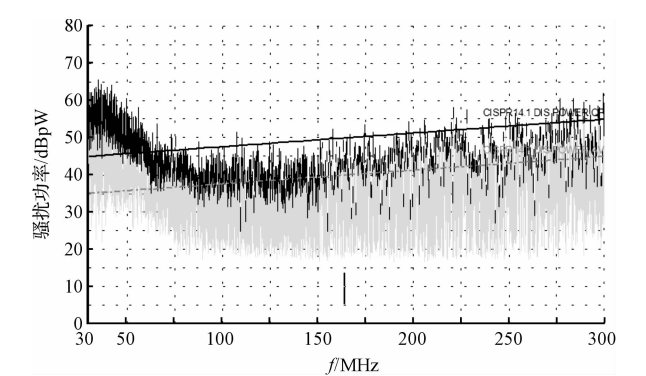


图 4 220 V 直流减速电机抑制用电容引脚长为 18 mm 的骚扰功率测试波形

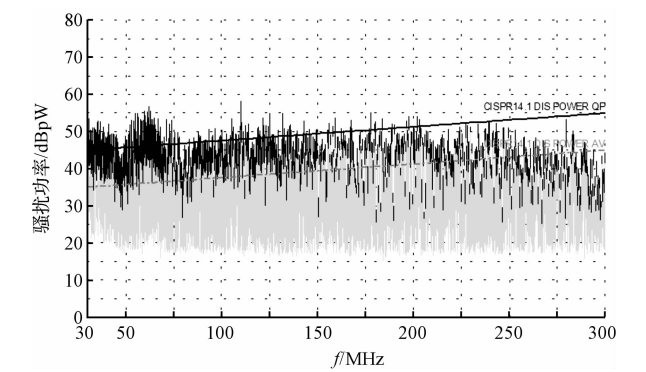


图 5 220 V 直流减速电机抑制用电容引脚长为 5 mm 的骚扰功率测试波形

行抑制,可考虑使用 nF 级三端电容。通过采用三端电容器抑制,在全部频段内都有望将骚扰曲线降低 20 dB(pW) ~ 30 dB(pW)。这是由于三端电容巧妙地利用了引线电感,构成了一个 T 型低通滤波器,相比两端电容器,三端电容器的 SRF 可达 500 MHz 以上。例如,某种抑制措施是对 220 V 直流推拿电机在正、负间各串入一个电容值为 222 的三端电容,电容的接地端接至电机外壳,其骚扰功率测试波形如图 6 所示。电机初始状态的测试波形如图 1 所示。

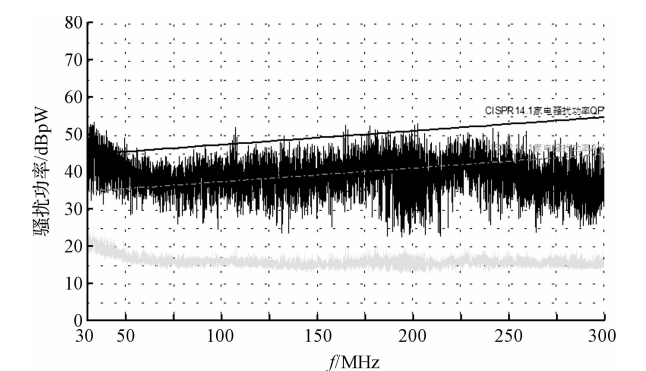


图 6 直流 220 V 推拿电机接 222 三端电容后骚扰功率测试波形

(4)若仅有一小段频点超过骚扰限值时,可考虑利用电感的自谐振特性进行抑制,该措施有望将超标频点骚扰测试值抑制 30 dB(pW)。根据电感自谐振频率公式可知,电感越大,自谐振频率越低,据此对超标频点进行抑制。如对某 220 V 直流减速电机(初始状态测试波形如图 2 所示),在电机供电回路中串入 2.2 μH 色环电感后测得的波形如图 7 所示。由图 7 可见,在 180 MHz 频点附近骚扰测试值降低了 30 dB(pW)左右。若改为 10 μH 色环电感,在 60 MHz 附近骚扰测试值也降低了 30 dB(pW)左右(测试波形如图 8 所示)。

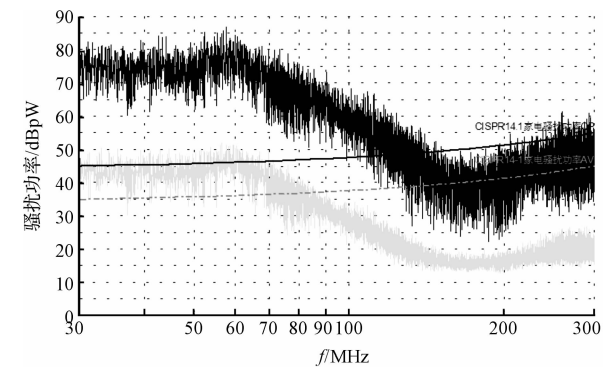


图 7 直流 220 V 减速电机串接 2.2 μH 色环电感后
骚扰功率测试波形

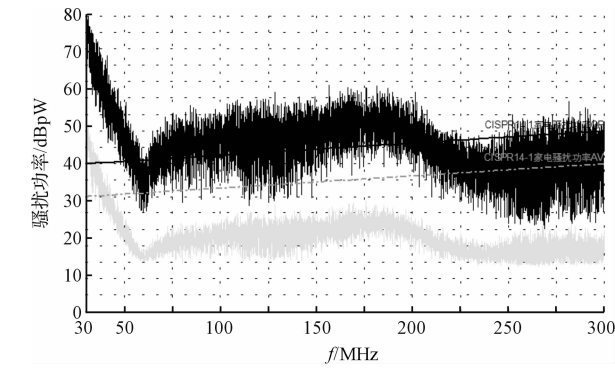


图 8 直流 220 V 减速电机串接 10 μH 色环电感后
骚扰功率测试波形

(5)采用电容抑制处理也可在 30 MHz ~ 300 MHz 整个频段获得好的抑制效果。电容应选具有较高 SRF 值的陶瓷电容或云母电容,并且电容容抗越高,其抑制频点越低。在电机骚扰功率抑制中,使用电容的抑制处理方式主要有两种:①电机正、负极电源线间跨接电容;②电机正、负极电源线与电机外壳间均跨接电容。后者的滤波效果好于前者,因为前者无法抑制电机外壳耦合的骚扰信号。某揉捏电机未进行抑制处理的骚扰功率测试图形如图 9 所示,采用方法一在揉捏电机供电回路间跨接一个 102 陶瓷电容后的测试波形如图

10 所示,采用方法二在揉捏电机正、负极电源线与电机外壳间均跨接一个 102 陶瓷电容的测试波形如图 11 所示。

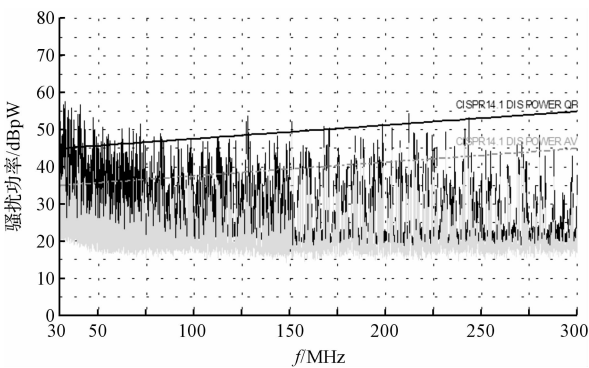


图 9 揉捏电机骚扰功率初始状态测试波形

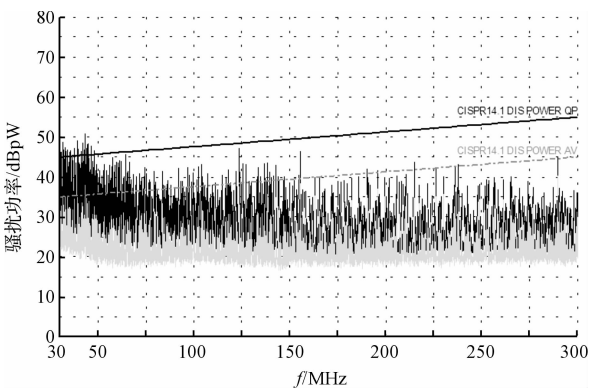


图 10 揉捏电机采用方法一抑制处理后的
骚扰功率测试波形

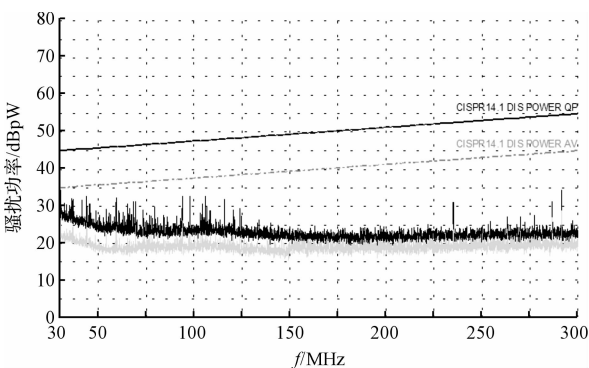


图 11 揉捏电机采用方法二抑制处理后的
骚扰功率测试波形

(6)骚扰抑制器件与骚扰源间的距离应尽量短。30 MHz ~ 300 MHz 频率分别对应的波长为 10 m ~ 1 m。根据天线理论,当天线长度超过波长的 1/20 时,天线就会产生空间辐射^[10]。因此,当骚扰抑制器件离骚扰源距离超过 0.05 m 时,电机供电回路上的骚扰信号就会通过该段电源线产生辐射。为避免空间辐射耦合,

抑制器件应尽量靠近骚扰源。

(7)贴片器件比直插器件分布参数影响更小,SRF值更高,抑制效果更好,因而应优先考虑使用贴片器件。

(8)由电刷换向产生的电磁骚扰主要是共模干扰信号,因此使用铁氧体磁环时,正、负极供电电源线双线并绕在磁环上与正、负极电源线分开绕在磁环上效果相同。

(9)除了采用滤波器件外,还可采用机械处理方式来降低骚扰功率,常见的措施有让电机连续运转一段时间,或电机正、反转运转后消除换向片上的毛刺来改善换向火花,实现骚扰功率抑制,也可通过降低电刷硬度、降低电刷弹簧压力等方式来抑制骚扰功率。

4 结束语

本研究对带直流电机的家电产品骚扰功率的抑制展开了综合分析,对骚扰功率测试时可能出现的局部频点测试超标以及全频段测试超标等情况都给出了相应的抑制措施,同时还对铁氧体磁环、三端电容、色环电感、瓷质电容等常用滤波器件在骚扰功率抑制时的适用情况及其抑制效果进行分析。通过研究给出的骚扰功率抑制应对策略,对家电产品设计人员快速、有针对性地改进电机电磁兼容设计、降低骚扰辐射提供指导。此外,虽然研究对象为带有刷直流电机的家电,但最后研究得出的抑制应对策略也可为其他家电产品的骚扰功率抑制提供思路。

参考文献(References):

[1] 全国无线电干扰标准化技术委员会 F 分会. GB 4343.1—

2009 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[2] 高海波,程 涛,周长征,等. 直流电机换向火花的检测与调整[J]. 四川兵工学报,2013(9):109-111.

[3] AVX Corporation. Very high frequency switch mode power supply output filter capacitor considerations and mounting limitations by John Maxwell[EB/OL]. [日期不详]http://www.avx.com/docs/techinfo/highfreq.pdf.

[4] WILLIAMS A B, TEAYLOR F J. 电子滤波器设计[M]. 北京:科学出版社,2008.

[5] MUNIR H A, Jenu Mohd, M ABDULLAH, M. F. L. Analysis and design of EMI filters to mitigate conducted emissions[C]. Research and Development Student Conference on. ShahAlam:[s. n.], 2002:204-207.

[6] 苏 桦,唐晓莉,张怀武. 软磁铁氧体器件设计及应用[M]. 北京:科学出版社,2014.

[7] 张 涛,刘丹丹,赵 辉,等. 基于等效磁化电磁法的永磁同步直线电机静态气隙磁场计算[J]. 机械,2015(5):57-60,64.

[8] 汪泉弟,秦传明,郑亚利,等. 低压永磁直流电机的传导电磁干扰模型[J]. 电机与控制学报,2011(1):55-59.

[9] KAHLOUL R, AZZOUZ Y, RAVELO B, et al. New Behavioral Modeling of EMI for DC Motors Applied to EMC Characterization. Industrial Electronics [J]. IEEE Transactions on, 2013(12):5482-5496.

[10] 钟顺时. 天线理论与技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2015.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

林 森,黄永福,何光平. 带有刷直流电机的家电产品骚扰功率应对策略[J]. 机电工程,2016,33(1):73-77.

LIN Miao, HUANG Yong-fu, He Guang-ping. Adaptive strategies on reducing disturbance power for household appliances with brush DC motor[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(1):73-77.

《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn