

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.11.020

电容电感抑制电动工具电磁骚扰的 理论和实验研究^{*}

金 勇, 孙 玮

(浙江省质量检测科学研究院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对手持式电动工具的电磁骚扰问题,对电磁骚扰的来源、影响因素和抑制手段进行了归纳,建立了电容和电感的高频等效电路和谐振频率模型,基于更换不同型式、不同容量的电容和电感的滤波器,利用测试接收机、人工电源网络和模拟手对 150 kHz ~ 30 MHz 的骚扰电压项目进行了测试。分析了不同频段差模干扰的抑制效果,提出了电容、电感的选用和安装建议。研究表明,为抑制手持式电动工具电磁骚扰,应充分重视电容电感的高频特性,合理地选择容量和型式,缩短引线,提高谐振频率,从而在较低的成本下实现最佳的抑制效果。

关键词:手持式电动工具;骚扰电压;电容;电感

中图分类号:TM3;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)11-1415-05

Research and experimental study of capacitance and inductance suppressing electromagnetic disturbance of electric tools

JIN Yong, SUN Wei

(Zhejiang Institute of Quality Inspection Science, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problem of electromagnetic disturbance of hand-held electric tools, the disturbance source, influencing factors and suppression methods were summarized, the high frequency equivalent circuit and resonant frequency model of inductance and capacitance were established, based on the replacement of different types, different capacity of capacitance and inductance, with the test receiver, artificial power supply network and analog hands the disturbance voltage test was conducted on 150 kHz ~ 30 MHz. The suppression effects of the different bands differential mode was analyzed, capacitors&inductors selection and installation recommendations were proposed. The results indicate that the suppression of hand-held electric tools electromagnetic disturbance should pay full attention to high frequency characteristics of capacitance and inductance, the reasonable selection of capacity and type, shorten the lead, raise the resonant frequency so as to achieve the best suppression effect at low cost.

Key words: hand-held electric tools; disturbance voltage; capacitance; inductance

0 引 言

手持式电动工具是指需要手握持操作的、装有电源线并内装电源开关的、由电动机或由电磁铁做动力来驱动的电动工具。手持式电动工具的特点是转速高、体积小、功率大、结构非常紧凑、便于携带和产品内部空间小。大多数带电源线的手持式电动工具采用串励电动机,定、转子带有励磁绕组,通电后形成电磁场从而带动电机的运转,由于换向器和碳刷的作用产生

交变电磁场,维持转子的旋转。转子是通过跨接在换向器两端的导电碳刷来连接电源的,换向器由换向片组成,它相当于一个旋转的开关装置,换向片之间的间隙造成间歇性的接触,决定了转子电磁场能量形成的时间和顺序。由于碳刷与换向片之间触点快速接通和断开,会产生高频的尖峰电压突变和电流突变,具体表现为换向火花,由此产生的电磁骚扰会通过电源线传导到电网,影响供电质量^[1]。影响电磁骚扰的因素通常包括:磁场平衡、换向性能、碳刷等级、碳刷压力,碳

收稿日期:2014-08-04

基金项目:国家质检总局质检公益性行业科研专项经费资助项目(2012104015-5)

作者简介:金 勇(1972-),男,浙江杭州人,高级工程师,主要从事电器产品的检测认证和实验室管理方面的研究. E-mail:hz_jinyong@126.com

刷配合、换向器参数和工艺、转子动平衡、电动机转速和杂散电容。通常的抑制手段包括:电容抑制、电感抑制、屏蔽和铁氧体磁珠^[2]。手持式电动工具普遍使用电容和电感抑制手段,以达到国家标准 GB4343.1-2009《家用电器、电动工具和类似器具的电磁兼容要求第1部分:发射》的限值要求。从历年来的手持式电动工具国家监督抽查结果来看,骚扰电压的不合格现象主要发生在低频段,这是由于电动机和可控硅这类的干扰源会在电源线上产生差模干扰,而差模干扰一般频率较低^[3]。

关于电动工具电磁骚扰抑制方面的研究,程丽玲^[4]在滤波、接地和设计制造工艺上提出应对措施;柯懿柯^[5]对抑制骚扰源和减小骚扰源和敏感电路之间的耦合提出建议;金川^[6]通过多种测试方案研究了电容电感组合的测试结果。

本研究通过从电容电感的高频特性入手,通过实验,研究不同型式、不同容量的电容和电感对手持式电动工具的电磁骚扰性能的影响,找到影响抑制效果的最佳方案,在满足标准的情况下尽可能节约制造成本。

1 实验研究

1.1 实验原理和设计方案

电容抑制骚扰的原理是:电容的阻抗是 $Z_c = 1/(2\pi fC)$, 频率越高则电容阻抗越小,在高频时电容为线路提供了一个并联的低阻抗回路。根据这个特性,在电动工具中,通过在干扰源(串励电动机)附近设置高频低阻抗回路,来减小通过电源线回馈到市电的干扰。在 II 类电动工具中普遍使用差模电容的接法(并接在电源线 L 与 N 之间)来消除差模干扰,在 I 类工具中也可以同时使用差模电容和共模电容的方法,共模电容连接到定子引线和地之间。

电容的高频等效电路如图 1 所示。

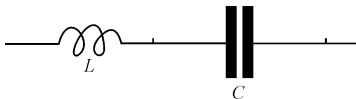


图 1 电容的高频等效电路

L —引线的寄生电感

串联电路的阻抗:

$$Z_c = 2\pi fL + 1/(2\pi fC) \quad (1)$$

谐振频率:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_c C}} \quad (2)$$

当工作频率小于谐振频率时,频率越高,等效电容值越大。当工作频率超过谐振频率时,电容实际上已

经变成电感,随着频率升高阻抗越来越大了。因此,要改善电容的高频特性,应该尽可能缩短电容的引线,减小电感。

电感具有过滤噪声,稳定电流要特点,从而起到抑制电磁干扰的效果。电感的阻抗为: $Z_L = 2\pi fL$, 频率越高阻抗越大,在高频时给线路提供了高阻抗串联回路。

电感的高频等效电路如图 2 所示。

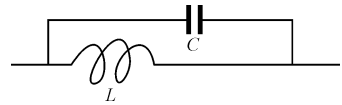


图 2 电感的高频等效电路

C —电感匝与匝之间的分布电容

并联电路的阻抗:

$$Z_L = 1/(2\pi fC - 1/2\pi fL) \quad (3)$$

谐振频率:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_c C}} \quad (4)$$

当工作频率小于谐振频率时,频率越高,等效阻抗越大。当工作频率超过谐振频率时,分布电容的影响占主导,阻抗已经降低了。因此,要改善电感的高频特性,应该尽可能减小匝间的分布电容。

本研究以电锤为例,进行实验研究试验。布置图如图 3 所示。电锤是一种附有气动锤击机构的一种带安全离合器的电动式旋转锤钻。它利用活塞运动,压缩气体冲击钻头,不需要手施加过多的力量,即可在混凝土、砖、石头等硬性材料上开孔,在工程施工现场应用非常普遍。



图 3 试验布置图

按照 GB4343.1-2009《家用电器、电动工具和类似器具的电磁兼容要求第1部分:发射》标准的要求^[7],本研究在电磁屏蔽室中,使用罗德与施瓦茨公司的 ESCI3 接收机,V 型人工电源网络,模拟手对一款电锤进行了电容电感的更换模拟实验,测试内容为

150 kHz ~ 30 MHz 的电源端子骚扰电压。该电锤原厂使用了 0.22 μF 的差模抑制电容,并联在电源线火线和零线之间,未安装抑制电感。

为了研究不同电容值对骚扰电压的影响,该试验方案将更换同型式不同容量的电容,分别在 0.1 μF ,0.22 μF ,0.33 μF ,0.47 μF 和无电容情况下进行测试。为了研究不同电感值对骚扰电压的影响,笔者在试验中更换 11 μH ,21 μH 的大差模电感和小差模电感,更换 21 μH 的差模电感和方形共模电感下进行测试。

1.2 实验结果分析

从测试结果来看,在不装电容的情况下,骚扰电压电平远远超过装了抑制电容的数据。随电容容量的增大,对骚扰电压的抑制效果会更好,但是在不同频段不同电容抑制效果并不同。

1.2.1 不同电容值对低频段骚扰电压的影响

为了研究电容在低频段的抑制效果,150 kHz ~ 700 kHz 的测试数据如表 1 所示。

表 1 不同电容值的低频骚扰电压测试结果

电容参数	试验结果	
	f/kHz	骚扰电压/ $\text{dB}\mu\text{V}$
0.22 μF (原装)	150	48.9
	262	48.9
	354	51.5
	454	49.3
	546	46.6
	646	44.1
	154	56.0
	262	49.1
0.1 μF	334	51.2
	458	49.0
	538	46.4
	638	44.0
	150	47.0
	250	49.0
	338	51.0
	442	48.1
0.33 μF	554	45.1
	646	43.0
	150	45.6
	250	50.6
	334	53.0
	454	50.8
	546	48.8
	650	47.0
0.47 μF	162	74.8
	242	75.4
	338	72.7
	438	65.0
	538	67.8
	642	64.0
无电容		

在图 4 中可以明显看出,在 150 kHz ~ 250 kHz 的频段,电容量由小变大,骚扰电压的电平值逐渐降低,变化比较明显,250 kHz ~ 700 kHz 频率范围内,电容量的大小对骚扰电压的影响并不明显。电容量 0.47 μF 电容在 150 kHz ~ 250kHz 的频段里,体现出了电容量更大的优势。根据电容阻抗公式,相同频率范围情况下电容量越大阻抗越小,更多的骚扰信号通过低阻抗回路,从而减少了通过电源线传导的骚扰信号,因此抑制效果越好。

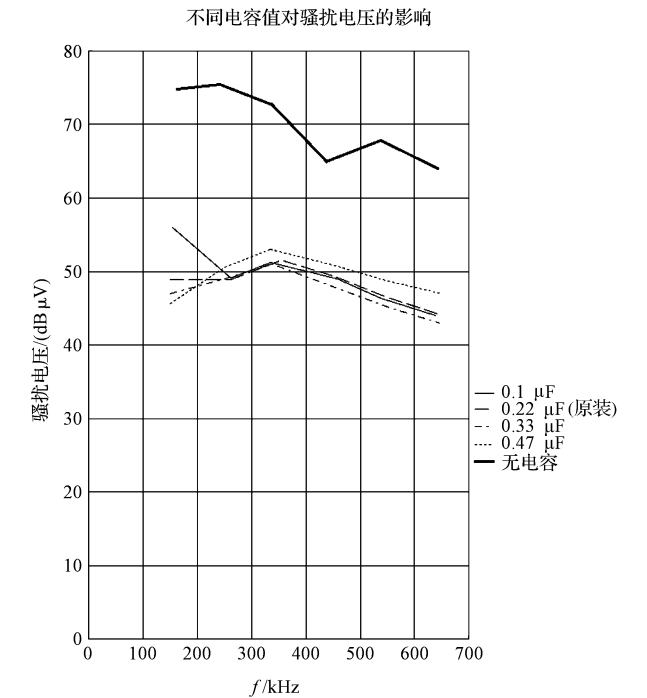


图 4 不同电容值的低频骚扰电压测试结果

1.2.2 不同电容值对高频段骚扰电压的影响

为了研究电容在高频段的抑制效果,270 kHz ~ 24 MHz的测试数据如表 2 所示。

表 2 不同电容值的骚扰电压测试结果

电容参数	试验结果	
	f/MHz	骚扰电压/ $\text{dB}\mu\text{V}$
0.1 μF	0.294	49.9
	0.378	51.0
	2.49	39.1
	3.974	38.1
	7.498	32.2
	23.994	27.3
	0.290	50.2
	0.394	51.4
0.22 μF (原装)	2.502	36.1
	3.986	35.1
	7.53	30.6
	24.03	26.1

(续表)

电容参数	试验结果	
	f/MHz	骚扰电压/ $\text{dB}\mu\text{V}$
0.33 μF	0.278	49.9
	0.378	51.5
	2.518	37.3
	5.014	30.8
	7.514	32.7
	24.042	31.9
0.47 μF	0.290	52.6
	0.406	52.1
	2.514	37.4
	4.974	29.4
	7.494	32.0
	23.986	27.7
无电容	0.270	72.1
	0.382	69.1
	2.502	57.6
	5.018	50.7
	7.478	52.1
	24.026	61.1

由图 5 可以发现,频段在 2 MHz ~ 7 MHz 之间, 0.1 μF 电容的抑制效果较差,而 7 MHz 以上,电容量的大小对骚扰电压的影响并不明显。随着频率的增大,当工作频率超过谐振频率时,电容阻抗越来越大,抑制效果越来越差。

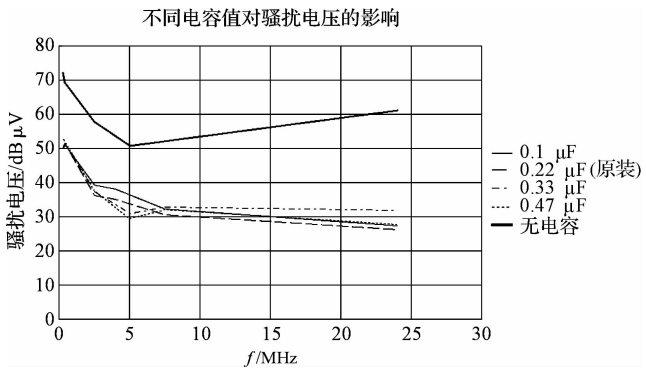


图 5 不同电容值的骚扰电压测试结果

1.2.3 不同电感值对骚扰电压的影响

抑制电感主要分共模电感和差模电感。电感量在 10 μH ~ 25 μH 。电感往往和接地的电容一起形成低通滤波器,滤波器的带宽要大于单使用电容的带宽,这样抑制效果比单用电容或单用电感效果更好。不同电感值对骚扰电压的影响对比如表 3 所示。

从图 6 可以看出,大小相同的电感,电感量越大抑制效果越好。

表 3 不同电感下骚扰电压的测试结果

电感参数	试验结果	
	f/MHz	骚扰电压/ $\text{dB}\mu\text{V}$
无电感	4.858	57.1
	10.058	60.4
	13.958	61.7
	18.978	62
	22.998	56.4
	28.95	56
2 × 11 μH 大电感	4.858	54.5
	9.998	60
	14.006	58.2
	19.046	62.1
	23.018	59.1
	28.954	54.6
2 × 11 μH 小电感	4.79	54.6
	10.034	60.5
	13.986	63.2
	19.034	69.8
	23.03	59.3
	29.106	61.7
2 × 21 μH 大电感	4.834	51.5
	10.034	59.4
	14.01	60.3
	19.002	59.4
	23.058	56.9
	29.01	52.1
2 × 21 μH 小电感	4.814	57.1
	10.014	59.5
	14.006	62.9
	18.982	60.3
	22.994	61.4
	28.95	53

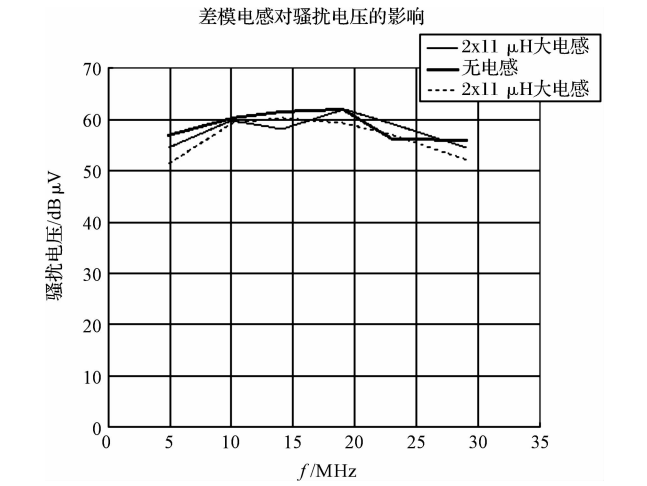


图 6 不同电感量下骚扰电压的测试结果

从图 7 可以看出,相同电感量情况下,小电感由于容易磁饱和,抑制效果不如大电感。

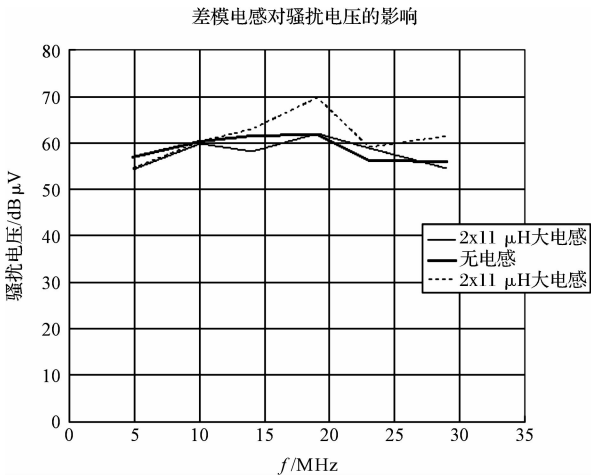


图 7 不同差模电感下骚扰电压的测试结果

1.2.4 差模电感和共模电感对骚扰电压的影响

差模电感和共模电感的测试数据比较如表 4 所示。

表 4 共模电感和差模电感下骚扰电压的测试结果

电感参数	试验结果	
	f/MHz	骚扰电压/dBμV
2×21 μH 大电感	0.15	63.5
	2.55	52.9
	5.854	54.9
	16.798	68.5
	21.234	60.5
	23.574	59.3
2×21 μH 方环 共模电感	0.15	62.8
	2.546	66.3
	5.89	65.2
	16.806	69.4
	21.194	59.9
	23.586	67.2

从图 8 可以看出,对 30 MHz 以下的电磁干扰,共模电感抑制效果不如差模电感。

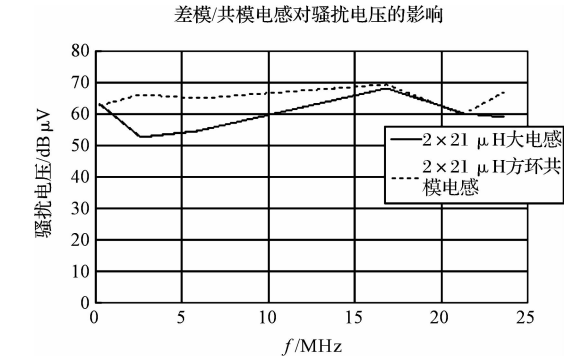


图 8 共模电感和差模电感下骚扰电压的测试结果

2 结束语

从上述数据和理论分析可以看出,电容和电感在高频情况下,电容量不是越大滤波效果越好,电容量越大对低频干扰的旁路效果虽然好,但是由于电容在较低的频率发生了谐振,阻抗开始随频率的升高而增加,对高频噪声的旁路效果变差。一旦频率超过谐振频率,那么抑制效果就会消失。因此,在运用中,要关注如何提高谐振频率,一方面要缩短电容的引线,减小寄生电感,另一方面也要尽量减小电感的分布电容。这样才能取得良好的骚扰电压抑制效果。当要滤除的噪声频率确定时,可以通过调整电容量,使谐振点刚好落在骚扰频率上。

因此,在电动工具的设计和维修应用中,为了取得较好的骚扰电压抑制效果,建议采用0.22 μF,0.33 μF电容量,电容的引线应尽可能短,电容安装尽量靠近换向器,在不影响工具通风散热的前提下,电感安装尽量靠近定子线圈,通过使用大差模电感来抑制骚扰电压。

参考文献 (References):

[1] GANESAN R, DAS S K, SINHA B K. Analysis and Control of EMI from Single Phase Commutator Motor used in Household Mixer [C]// Proceedings of Electromagnetic Interference and Compatibility. Madras: [s. n.], 1995: 423-427.

[2] JABBAR M A, RAHMAN M A. Radio frequency interference of electric motors and associated controls [J]. **Industry Applications, IEEE Transactions**, 1991, 27(1): 27-31.

[3] 杨继深. 共模干扰和差模干扰 [J]. 安全与电磁兼容, 2002 (2): 48-50.

[4] 程丽玲. 电动工具的电磁干扰抑制 [J]. 安全域电磁兼容, 2004 (1): 52-54.

[5] 柯懿枸, 刘金华. 电动工具 EMC 问题分析及解决 [J]. 环境技术, 2008 (4): 23-25.

[6] 金 川. 电动工具电磁干扰抑制技术的研究 [J]. 机械研究与应用, 2011 (2): 45-46.

[7] 国家标准化工作委员会. GB 4343.1-2009 家用电器、电动工具和类似器具的电磁兼容要求第 1 部分: 发射 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

[编辑: 洪炜娜]

本文引用格式:

金 勇, 孙 玮. 电容电感抑制电动工具电磁骚扰的理论和实验研究 [J]. 机电工程, 2014, 31(11): 1415-1419.

JIN Yong, SUN Wei. Research and experimental study of capacitance and inductance suppressing electromagnetic disturbance of electric tools [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(11): 1415-1419.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>