

单相共差模磁集成电感器

胡锋¹, 刘国安², 刘先松¹, 阚绪材¹

¹安徽大学 物理与材料科学学院 磁性材料安徽省工程技术研究中心, 合肥 230039

²合肥博微田村电气有限公司, 合肥 230088

摘要: 通过对EMI滤波器典型拓扑结构、单相共模电感器工作原理及特点的分析, 提出了一种单相共差模磁集成电感器, 并分析了其共模电感与差模电感的磁集成原理。结果表明, 使用EI-gap磁芯制作的单相共差模磁集成电感器, 共模电感量为833.8 μH (10kHz), 差模电感量为42 μH , 饱和电流超过20A。

关键词: EMI, 共模电感器, 差模电感器, 电感, 磁集成

Single-phase common- and differential mode choke

HU Feng¹, LIU Guo-an², LIU Xian-song¹, KAN Xu-cai¹

¹Engineering Technology Research Center of Magnetic Materials, Anhui Province

School of Physics & Materials Science, Anhui University, Hefei 230039

²Hefei Ecriee-tamura ElectricCo., Ltd, Hefei 230088

Abstract: According to analyzing the typical topology of EMI filter, the mechanism and features of common mode choke, a new design of single-phase common- and differential mode choke was proposed in this paper and the magnetic integration principle was also analyzed. The single-phase common- and differential mode choke used EI-gap core exhibits common mode inductance of 833.8 μH (10kHz) and differential mode inductance of 42 μH with saturation current of above 20A.

Keywords: EMI, common mode choke, differential mode choke, inductance, magnetic integration

1 引言

开关电源(SMPS)产生共模噪声与差模噪声两类噪声, 开关电源EMI滤波器典型拓扑如图1所示^[1], 共模电感器通常由绕在磁芯上的两个独立绕组组成, 两绕组匝数相同但绕向相反, 如图2所示; 差模电感器可以通过共模电感器差模电流流入时的漏感实现, 但更多为独立的差模电感器。高导铁氧体材料和非晶纳米晶材料由于具备高起始磁导率而广泛应用于制作共模电感器^[2-3], 金属粉芯材料由于具有良好的直流偏置特性而用于制作差模电感器^[4]。

如图2所示, 共模电感器接入电路后, 对差模电流、两绕组上电流产生的磁通在磁环内相互抵消, 不会使磁环

达到饱和状态, 并且由于磁环磁导率远高于空气, 漏磁少, 漏感部分充当差模电感; 对通过电源线与地线之间的共模电流, 由于方向相同, 磁通相叠加, 对共模电流产生高阻抗, 从而大大削弱了共模噪声干扰^[5]。

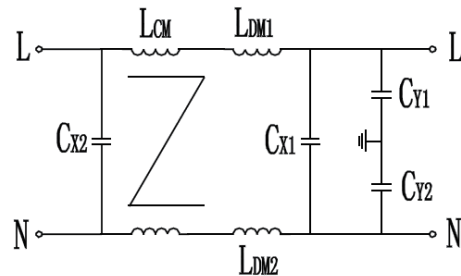


图1 EMI滤波器典型拓扑

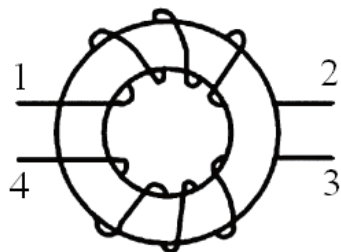


图2 单相共模电感器原理图

利用特殊磁性材料或磁路结构的磁芯、磁集成技术减少磁性器件数量是 EMI 滤波器优化的技术热点之一，也有不少见于报道。

2 单相共差模电感磁集成研究

关于开关电源 EMI 滤波器共差模电感磁集成的研究，文献都给出了研究结果^[1,6-7]。

文献 [1] 提出了一种 Toroid-EQ 结构的共差模磁集成电感，其原理图与实物图如图 3 所示，即在传统环形共模电感器中插入 EQ 磁芯，其中圆柱形磁芯中柱穿入磁环内孔，通过 EQ 磁芯提高共模电感中差模电感的磁导率。该文献报道共模电感量为 2.6mH (10kHz)，无 EQ 磁芯时差模电感量为 6.3uH (100kHz)，加入 EQ 磁芯时差模电感量提高为 13.6uH (100kHz)。

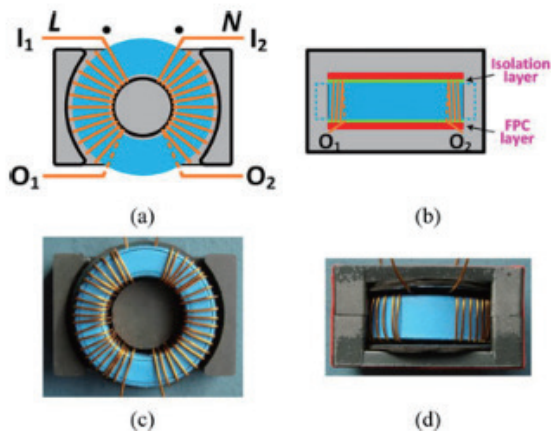


图3 Toroid-EQ 磁集成电感:a)俯视图,b)前视图,
c) 实物俯视图, d) 实物前视图

文献 [6] 提出了一种双环形磁芯制作的共差模磁集成电感，其实物图如图 4 所示，其中大环为高磁导率磁芯，小环为低磁导率磁芯，大环绕线方式与传统共模电感一致，小环左侧绕线与大环左侧绕线方向相同，小环右侧绕线与大环右侧绕线方向相反，当差模电流流入时，两绕组上电流产生的磁通在大磁环内相互抵消，漏磁极少，漏磁部分充当差模电感；在小磁环内则相互叠加，电感值较大，充当差模电感。该文献报道共模电感量为 700uH (10kHz)，差模电感量为 48.2uH (10kHz)。

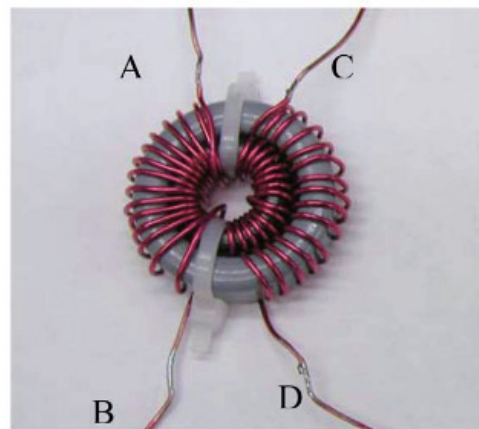


图4 双环磁集成电感实物图

以上文献关于开关电源 EMI 滤波器共差模电感磁集成的研究结果，都实现了磁集成，不过存在使用多种磁芯或者工艺较为复杂的不足。

3 本研究 EI-gap 共差模磁集成电感

3.1 EI-gap 共差模电感磁集成原理

将 EI 型磁芯中柱磨气隙，气隙长度为 l_g ，E 型磁芯与 I 型磁芯接触面均进行镜面处理；在 E 型磁芯两边边腿分别绕制相同匝数的线圈，EI-gap 共差模电感磁集成原理如图 5 所示，其中 I_c 、 I_d 、 Φ_c 、 Φ_d 分别表示共模电流、差模电流、共模磁通、差模磁通。

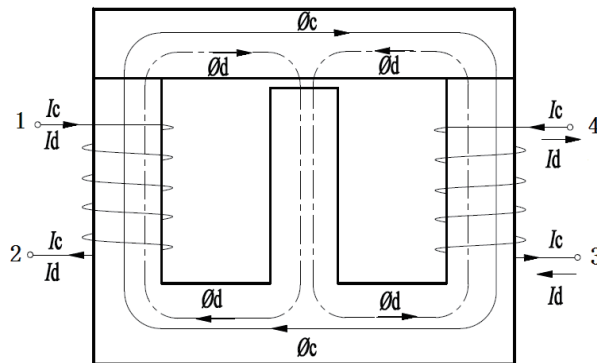


图5 EI-gap 共差模电感磁集成原理

3.2 EI-gap 共差模电感试验结果与讨论

选用天通 (TDG) 起始磁导率 $\mu_i=10000$ 高导锰锌铁氧体磁芯 EI44/30/20。测试仪器为: Wayne Kerr 6500B 阻抗分析仪, ed-k DPG10-1500A 功率电感测试仪。

图 6 是 EI44/30/20 中柱气隙长度 $l_g=1.9\text{mm}$, 10 匝时 1、2 两端阻抗 - 频率 ($Z-f$) 曲线及电感 - 频率 ($L-f$) 曲线。从图 6 可知, 共模电感量为 $833.8\mu\text{H}$ (10kHz)。根据图 5, 当共模电流 I_c 分别从 1、4 两端流入, 并从 2、3 两端流出时, 两个绕组将产生大小相等、方向相反的磁通, 并且由于中间磁柱开有气隙、磁阻很大, 将在图示磁芯中形成图 5 实线所示的共模磁通 Φ_c 。由于该磁路有效磁导率高, 将获得较高电感值, 测试数据 $833.8\mu\text{H}$ 也与此吻合, 证实了图 5 所示实线磁路是本研究贡献共模电感的共模磁路。从图 6 还可知, 阻抗 Z 在约 1MHz 时达到最大值后开始下降, 这主要是由样品寄生电容导致。

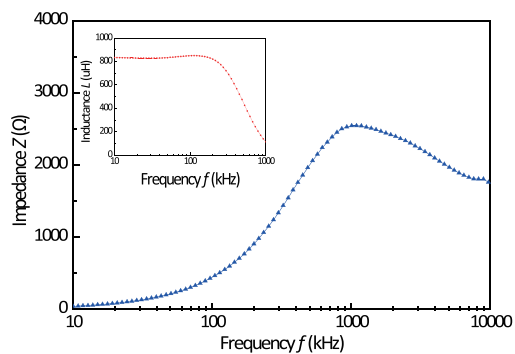


图 6 气隙长度 $l_g=1.9\text{mm}$, 10 匝时 1、2 两端的 $Z-f$ 、 $L-f$ 特性

图 7 是 EI44/30/20 中柱气隙长度 $l_g=1.9\text{mm}$, 10 匝时 1、4 两端 (2、3 串联) 电感量 L 与流入的差模电流 I_d 曲线图, 此电感量即差模电感量。从图 7 可知, 差模电感量 10A 时为 $42\mu\text{H}$, 饱和电流超过 20A 。根据图 5, 当差模电流 I_d 从 1 端流入、2 端流出, 并从 3 端流入、4 端流出时, 两个绕组将产生大小相等、方向相同的磁通, 在实线所示回路中将相互抵消, 这与普通环形共模电感器相似, 但由于中间磁柱的存在, 将存在图 5 虚线所示的差模磁通 Φ_d 。由于差模磁路中磁芯开有气隙, 气隙增加了磁芯抗饱和能力, 测试数据也与此分析吻合, 证实了图 5 所示虚线磁路是本研究贡献差模电感的差模磁路。

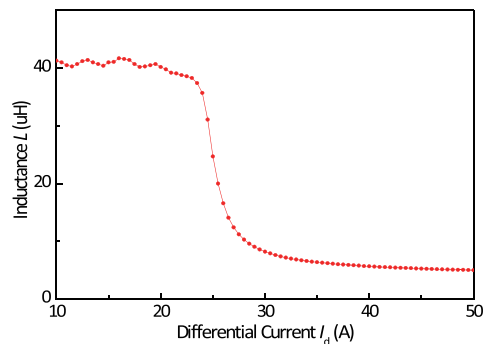


图 7 气隙长度 $l_g=1.9\text{mm}$, 10 匝时 1、4 两端 (2、3 串联) 的 $L-I_d$ 特性

4 结论

本文介绍了部分文献报道的单相共差模磁集成电感器, 简述了其磁集成原理和测试数据, 另通过对 EMI 滤波器典型拓扑结构、共模电感器工作原理及其特点的分析, 亦提出了一种 EI-Gap 单相共差模磁集成电感, 使用单一磁芯且工艺简单, 共模电感量为 $833.8\mu\text{H}$ (10kHz), 差模电感量为 $42\mu\text{H}$, 饱和电流超过 20A 。

参考文献

- [1] Wenhua T, Carlos C, Xavier M, et al. A common-mode choke using toroid-EQ mixed structure [J]. IEEE Trans Power Electron, 2013, 28(1): 31-35.
- [2] 刘先松, 徐杰, 胡锋, 等. 高磁导率低损耗因数锰锌铁氧体材料及其制造工艺 [P]. 中国专利: 101905970 B, 2013-06-02.
- [3] 胡锋, 刘先松, 朱德如, 等. 掺杂对高磁导率低损耗锰锌铁氧体磁性能的影响 [J]. 功能材料, 2011, 9(42): 1577-1579.
- [4] Xiangyue W, Caowei L, Feng G, et al. New Fe-based amorphous compound powder cores with superior DC-bias properties and low loss characteristics [J]. J. Magn. Mater. 2013, 330, 119-133.
- [5] 胡锋, 杨伟, 朱瑞威, 等. 基于高导锰锌铁氧体磁芯的共差模磁集成电感器 [J]. 磁性材料及器件, 2018, in press.

下转152页