

综合式无损检测系统的电磁兼容设计

陈新波, 孙金立, 袁英民, 张海兵

(海军航空工程学院 青岛分院, 青岛 266041)

摘要:分析了集超声、涡流和声阻三种检测方法于一体的综合式无损检测系统的电磁干扰问题。从硬件和软件给出了抑制电磁干扰的方法,较好地解决了系统电磁兼容问题。

关键词:无损检测系统;电磁干扰;电磁兼容

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)10-0571-02

Design of Electromagnetic Compatibility for Comprehensive Nondestructive Testing System

CHEN Xin-bo, SUN Jin-li, YUAN Ying-min, ZHANG Hai-bing

(Qingdao Branch, Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

Abstract: The basic factors that generate the electromagnetic interference (EMI) in comprehensive nondestructive testing system were analyzed. The design methods for reducing EMI with hardware and software were presented. It was successful on solving the electromagnetic compatibility(EMC) problem.

Keywords: Nondestructive testing system; Electromagnetic interference; Electromagnetic compatibility

综合式无损检测系统引入了虚拟仪器概念,利用计算机系统的强大资源和 LabVIEW 软件,集超声、涡流和声阻三种探伤方法于一体^[1]。系统既含有模拟电路又含有数字电路;既有高压部分,又有低压部分,这将导致① 内部电路工作时,高压、瞬时大电流静电放电会产生很强的近场电磁脉冲。② 系统不可避免地在日益恶化的电磁环境中工作。如果在研制和系统设计过程中,事先缺乏对电磁兼容性问题的系统考虑,就可能使系统在使用中发生部件、组件和单元之间的相互干扰,直接影响系统的可靠性、稳定性和品质指标。由此可见,对系统的电磁兼容性设计必须引起足够的重视。

1 综合式无损检测系统的电磁干扰分析

综合式无损检测系统目前主要应用于航空维修中外场和内场的飞机和发动机等零部件的探伤。由于系统工作在机场,来自机场的通讯设备、飞机上的电子设备、发动机的正常运行或试车等大功率设备

的外部电磁干扰多而杂;另一方面,系统功能强大、体积小、内部电路集成度高,既有来自内部模拟电路的干扰,如电阻热噪声、散粒噪声、爆米花噪声、超声波发生器中场效应管的开关噪声、A/D 转换电路引起的噪声、连接线引起的噪声等;又有来自内部数字电路(如 CPLD 等数字逻辑器件、PCI 总线和时钟信号)引起的干扰^[2]等。无论是外部干扰还是内部干扰,如不加以防范,干扰信号会通过空间辐射或地线,耦合到检测系统的其他部分,特别是超声发射/接收卡、涡流信号激励/接收卡、声阻发射/接收卡等电路。相对于接收信号,如干扰信号较强,加之接收电路增益较高,将导致系统无法正常工作;软件程序在运行过程中因为电磁波的干扰而进入某个死循环,或者 CPU 停止工作,总线出现死态,导致计算机死机。

2 综合式无损检测系统的电磁兼容措施

2.1 电磁屏蔽

综合式无损检测系统的主机机箱是主要的屏蔽体,采用铁磁材料(如高磁导率合金和铁),可以对磁场起到屏蔽的作用。屏蔽效能除了与所选屏蔽材料的导电率、导磁率和厚度有关外,在很大程度上还依

收稿日期: 2006-03-09

作者简介: 陈新波(1975—),男,讲师,从事飞机损伤检测方面的教学和科研工作。

赖于屏蔽盒的结构,即其导电连续性。系统设计中每个模拟电路单元采取局部屏蔽,然后采用整块铜皮材料制作屏蔽盒,并且将其无缝焊接在印制电路板(PCB)上。其上留用的调节孔采用电磁密封衬垫来密封。电磁密封衬垫是一种弹性好、导电性高的材料。将这种材料填充在孔洞处,能保持导电连续性,是解决缝隙电磁泄漏的好方法。

2.2 地线的处理

地线对电磁兼容性影响很大^[3]。综合式无损检测系统包含模拟电路、数字电路、功率电路和传感器等。系统中的模拟地作为比较器、运算放大器等模拟电路的零电位;数字地作为各数字电路的零电位,应与模拟地分开,以避免模拟信号受数字脉冲干扰;信号地为传感器或前置放大的地线;功率地是功率电路等大电流装置的地线;机壳地包括底板、机壳和屏蔽罩等。系统地是各种地的最终回流点,直接与大地相连;交流地是交流电源的零电平参考点,交流地上很容易产生各种干扰,因此交流地不能与其他地线连接。

正确处理上述地线,是检测系统电磁兼容设计的重要环节。系统中将地线分为敏感信号及小信号电路地、不敏感信号和大信号电路地、干扰源地和机壳地4组,每组信号自成回路,以减少公共阻抗耦合。系统最终采用串、并综合一点接地。

2.3 印制电路板设计

由于系统的集成度高、PCB板上的电子器件密度大,走线窄,信号的频率高,不可避免地会引入电磁兼容(EMC)和电磁干扰(EMI)的问题。所以,设计目的是使板上各部分电路之间没有相互干扰,并使印制板对外的传导发射和辐射发射尽可能降低,达到有关标准要求。在设计印制电路板布线时,首先要选取印制板类型,然后确定元器件在板上的位置,再依次布置信号线、电源线和地线等。

2.3.1 印制电路板的选取

综合式无损检测系统采用6层印制电路板。在6层PCB板中,电源和地分别放在第3和第4层,这一设计解决了电源覆铜阻抗问题,由于第1层和第6层的电磁屏蔽性能差,差模EMI抑制较差。如果两个外层上的信号线数量最少,走线长度很短(小于信号最高谐波波长的 $1/20$ ^[4]),则这种设计可以解决差模EMI问题。将外层上的无元件和无走线区域铺铜填充并将覆铜区接地(以 $1/20$ 波长为间隔),则对差模EMI的抑制效果很好。将第1和第6层

布为地层,第3和第4层走电源和地。由于在电源层和接地层之间是两层居中的双微带信号线层,因而EMI抑制能力优异。

2.3.2 元器件的布局

对板上的元器件先按使用电源电压分组,再按数字与模拟、高速与低速以及电流大小等进一步分组。目的是对印制板上的空间进行分割,同组的放在一起,以便在空间上保证各组的元器件不致于相互干扰。不相容的器件要分开布置,例如发热元件远离关键集成电路。并力求元器件安排紧凑,一般应以某个元器件为中心来进行组合布局,这样可使走线最短。

2.3.3 铺设时钟信号线

时钟信号线的线长应尽量短,尽量没有过孔或使孔数目尽量少,尽量不穿过电源岛,上拉电阻的设计等是应该遵循的基本原则。

2.3.4 电源线的布置

印制板上的电源线由于给板上的数字逻辑器件供电,线路中存在瞬态变化的供电电流,因此将向空间辐射电磁干扰。根据印制线路板电流的大小,尽量加足电源线宽度,减少环路电阻。同时使电源线、地线的走向和数据传递的方向一致,以有助于增强抗噪声能力。由于系统中PCB板的供电有专用的电源层和地线层,面积大、间距小且特性阻抗 $<1\Omega$,可有效抑制电源线中存在的干扰。

2.3.5 地线设计

PCB板地线设计的原则是数字地与模拟地分开、接地线应尽量粗、接地线构成闭环回路、对CMOS的不用端要接地或接正电源、电路板连接线需规格化。

连接线参数可以根据资料获得,根据这些参数计算PCB板连接线的阻抗,使之规格化以达到最佳匹配。在横切面面积 S 已知情况下,计算导线直径 d 的公式为^[5]:

$$d = 1.08 + 0.10 \times \lg \frac{1}{S}$$

计算PCB板连接线规格的公式为:

$$d = -9.6954 - 19.8578 \times \lg S$$

2.4 软件抗干扰措施

软件抗干扰的主要手段有:数字信号多次读入,保证每次采样信号的一致性;数字信号多次读出;输入模拟量的数字滤波处理^[3]。数字滤波方法很多,需要注意的是应该根据实际信号特性来选择合适的方

(下转第577页)

然后在训练时使用归一化之后的数据,即

$$F_{xne}T = \text{train}(F_{xne}T, P_n, T_n);$$

训练结束后,再利用恢复函数 Postmnmx 将被归一化后的数据恢复。

$$[P, T] = \text{Postmnmx}(P_n, \min P, \max P, T_n, \min T, \max T)$$

经过训练后的神经网络系统就可以应用于应力的检测了。

3.3 人工神经网络的学习及试验结果

以下列出利用该系统对 S195 柴油机锻钢曲轴的测试结果与其他测试方法的比较。

分别用电阻应变仪与 Barkhausen 测试仪器对不同载荷状态下曲轴曲柄臂内侧圆角部位的同一点测量。其在曲轴连杆轴颈受压时产生拉应力;另外还分别采用 Barkhausen 测试仪器与 X 射线应力仪测量 6 个测点的残余应力。测量结果见表 1。

表 1 人工神经网络试验结果

测 试	受压时同一点的拉应力/MPa	加载后不同点的残余应力/MPa	仪器 A ¹⁾	仪器 B ¹⁾	仪器 B	仪器 C ¹⁾
1	157	151	-219	-234		
2	236	227	-221	-233		
3	311	299	-237	-255		
4	367	352	-199	-210		
5	411	395	-217	-232		
6	466	447	-223	-235		

注:1) A 为电阻应变仪;B 为 Barkhouser 测试仪;C 为 X 射线应力仪。

从表 1 可见,系统对于残余应力的测试结果与目前已被普遍认可的 X 射线法的测试结果相比误差 $< 7\%$, 因此 Barkhausen 测试仪对曲轴残余应力的测试数据是可信的。

4 结束语

用巴克豪森噪声测量残余应力时,采用广义 RBF 神经网络处理数据,可以很好的处理 BN 信号与零件应力间的非线性映射关系;也可以完全由网络程序自身自动识别出 BN 信号是否为依赖于应力的变化;同时直接建立起测得的 BN 信号与其他测试方法得到应力间的对应关系,标定方便。实验证明,人工神经网络所得的数据可信,与传统测量方法相比,测量快速,容易实现在线检测。

参考文献:

- [1] 祁 欣. 应力对磁、声 Barkhausen 噪讯频谱特征的影响[J]. 哈尔滨工程大学学报, 1998, 19(4): 13—18.
- [2] 祁 欣. Relationship between magnetic Barkhausen noise and the stresses, the hardness and the phase content of ferromagnetic materials[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2005, 12(1): 67—70.
- [3] 倪友平. 一种优化 RBF 神经网络训练算法及其在目标识别中的应用[J]. 现代电子技术, 2005, (3): 18—20.
- [4] 金建华. 人工神经网络在电磁无损检测中的应用[J]. 无损检测, 2003, 25(12): 638—640.
- [5] 曹玉波. 基于人工神经网络的信号预测在 Matlab 中的研究与实现[J]. 吉林化工学院学报, 2005, 22(2): 39.

(上接第 572 页)

声阻探伤与涡流探伤检测的是每一时刻的瞬时值,而超声检测是通过一段波形的详细分析来确定缺陷的存在、位置与大小。不同方法对信号处理要求不同,因此在综合式无损检测系统的软件部分应采取不同的信号处理手段。分析与实验表明,在涡流探伤与声阻探伤模块中,利用算术平均的滤波方法可以很好地抑制随机噪声。而在超声检测模块中,采用 Butterworth 高通滤波器和基于小波分析的降噪技术,能突显所需信号,抑制噪声与干扰。

3 结语

综合式无损检测系统在电磁兼容设计中充分考虑了外部电子设备和内部自身电路的电磁辐射和干

扰问题,将硬件和软件结合起来,较好地解决了电磁兼容问题,实际应用效果良好。

参考文献:

- [1] 孙金立,肖兴明,袁英民,等. 基于虚拟仪器的综合式无损检测系统[J]. 无损检测, 2005, 27(11): 580—586.
- [2] 陈新波. 基于虚拟仪器技术的超声检测仪器的研发及应用[M]. 上海:华东理工大学, 2005.
- [3] 王 宏,陈怀春. PWM 控制系统中的电磁兼容设计[J]. 电子工程师, 2004, 30(11): 7—9.
- [4] 钱照明,程肇基. 电磁兼容设计基础及干扰抑制技术[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2000.
- [5] 傅 林. 虚拟仪器 B 型超声波诊断仪系统结构与软硬件设计[M]. 成都:四川大学, 2003.