

基于全速电流测试的印制电路板 电路故障信息获取方法

郭朝有, 欧阳光耀, 吴雄学

(海军工程大学 船舶与动力学院, 湖北 武汉 430033)

摘要:针对当前印制电路板(PCB)非介入式故障诊断的需要,结合电源电流测试技术发展现状,提出了基于全速电流测试,通过向测试电路施加测试序列使被测电路处于静置和全功能状态交替工作,采集电源电流在若干个工作周期内的平均电流值以实现非介入 PCB 电路故障信息获取的新方法。ITC'97 国际标准电路中的 CTSV 滤波器电路的全速电流测试仿真实验结果表明,该方法可完成 PCB 电路非介入的故障信息获取,有望实现印制电路板的非介入式故障诊断。

关键词:全速电流测试;印制电路板电路;非介入式;故障信息获取;故障诊断

中图分类号: TP277;TM13

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)10-1277-04

Non-intrusive fault information obtainment of printed circuit board based on at-speed current testing

GUO Chao-you, OUYANG Guang-yao, WU Xiong-xue

(College of Naval Architecture and Power, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: For non-intrusive fault information obtainment of printed circuit board(PCB), an new method based on at-speed current testing was presented. The circuit under at-speed current testing worked on two alternative states by applying two alternative vectors to the circuit. And the fault information was obtained by measuring the average current flowing from VDD to GND of the power supply for the circuit-under-test. SPICE simulation about a continuous-time state-variable filter circuit under the at-speed current testing, shows the feasibility of the at-speed current testing apply to the non-intrusive fault information obtainment and the at-speed current testing has good application prospects among the non-intrusive fault of printed circuit board.

Key words: at-speed current testing; printed circuit board(PCB); non-intrusive; fault information obtainment; fault diagnosis

0 引 言

随着印制电路板(PCB)元器件密度的日益增大,以及多层电路板和超大规模集成电路的使用,电路中可及节点越来越少,甚至于不存在可及节点^[1]。越来越多的学者开始研究和开发有效的 PCB 电路非介入式故障信息获取技术和方法。

电流是电路的重要参数之一,电流信息包含大量的电路拓扑结构信息,直接反映电路的运行状态,是故障信息的重要组成部分之一^[2]。电路发生故障时,某

些支路电流也必将发生相应的变化。而电源电流与各支路电流相关,支路电流的改变也必将导致电源电流的变化。因此,可通过对电源电流的测试,以电源电流信息为依据进行电路测试和故障诊断。而且对任一 PCB 电路而言,电源节点是通用的,因而电源电流测试也是一可行的非介入式故障信息获取技术,能胜任大规模、高集成度的 PCB 电路的测试与故障诊断。

全速电流测试是一种基于平均电流分析法的电源电流测试方法,是最有望实用化的测试方法。而且文献[3-4]用全速电流测试方法分别对 CISC 指令集非

流水线结构的 AT89C51 微处理器和 RISC 指令集流水线结构的 PIC12F509 微处理器进行了测试,验证了全速电流测试方法对微处理器测试的实际可行性和普遍有效性。

为此,本研究以 ITC'97 国际标准电路中的 CTSV 滤波器电路为对象,通过仿真实验研究,以验证基于全速电流测试的 PCB 电路非介入故障信息获取的可行性。

1 基于全速电流测试的电路故障信息获取

PCB 电路的全速电流测试基本原理^[5-8]如图 1 所示,测试时向被测电路注入由测试向量对 (V_0, V_1) 构成的测试序列 ($V_0, V_1, V_0, V_1, \dots, V_0, V_1$),其中测试向量 V_0 使被测电路工作于静置状态, V_1 使被测电路工作于全功能状态,从而使电路交替工作在静置状态和全功能状态。当被测电路工作于静置状态或全功能状态时相应产生稳态电流 I_{DDQ0} 或 I_{DDQ1} ($I_{DDQ1} > I_{DDQ0}$),处于从静置状态向全功能状态过渡或从全功能状态向静置状态过渡时相应产生动态电流 I_{DDT0} 或 I_{DDT1} ($I_{DDT0} < I_{DDT1}$)。因此在 nT (若干个测试周期)测试时间内电路消耗的平均电流 I_{DDA} 包括稳态电流 (I_{DDQ0} 和 I_{DDQ1}) 和动态电流 (I_{DDT0} 和 I_{DDT1}),即 I_{DDA} 的大小介于 I_{DDT1} 峰值与 I_{DDQ0} 之间,而且在较长的时间内 I_{DDA} 较为稳定;另外当被测电路存在故障时,上述四部分电流将会发生变化,只要其中任一部分电流发生较大变化 I_{DDA} 都会偏离正常值,即可实现电路的故障检测;而且被测电路中不同部位元件发生故障时,上述四部分电流的变化趋势是不一致的,从而导致 I_{DDA} 的变化趋势也是不一致的,因此借助通用仪器无需高性能电流专用测量仪器即可实现 I_{DDA} 的测量,并根据 I_{DDA} 值的大小实现电路的故障定位,即基于全速电流测试,通过测量 I_{DDA} 可实现电路故障信息的获取。

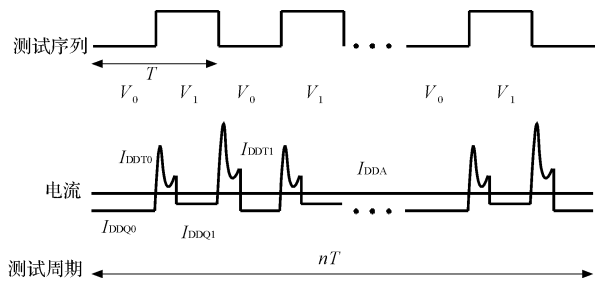


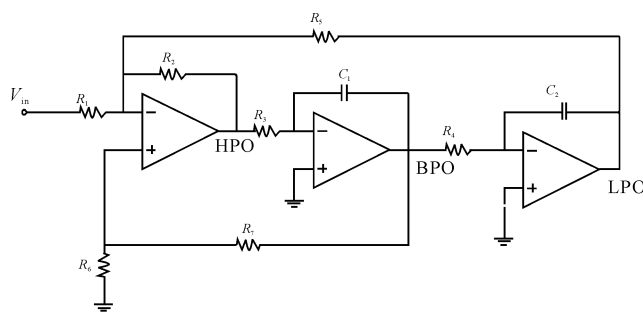
图 1 基于全速电流测试的电路故障信息获取原理

2 基于全速电流测试的电路故障信息获取仿真

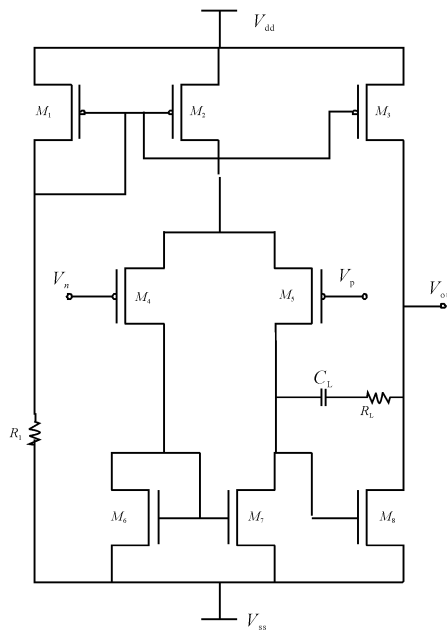
2.1 实验电路及电路建模与仿真

2.1.1 实验电路

实验电路选自 ITC'97 国际标准电路中的 CTSV 滤波器^[9] (Continuous-Time State-Variable Filter),如图 2(a)所示,其中元件参数 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 10 \text{ k}\Omega, R_6 = 3 \text{ k}\Omega, R_7 = 7 \text{ k}\Omega, C_1 = C_2 = 20 \text{ nF}$,运放 HPO、BPO、LPO 为 ITC'97 国际标准电路中补偿式 CMOS 运放,内部电路如图 2(b)所示。



(a)CTSV滤波器电路



(b)内部电路

图 2 实验电路 - CTSV 滤波器电路 (ITC'97)

2.1.2 电路建模与仿真

在本研究中,电路建模与仿真软件采用 OrCAD/Pspice10.5^[10],建立的电路仿真模型如图 3 所示。电路故障建模仅考虑 CTSV 滤波器电路中电阻的短路/开路硬故障以及电阻的软故障等单故障共 12 种故障模式。

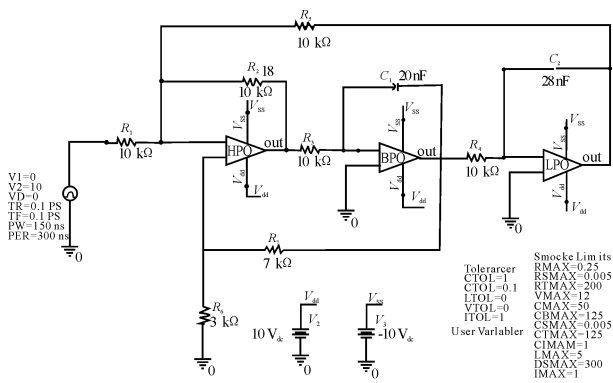


图 3 CTSV 滤波器电路仿真模型

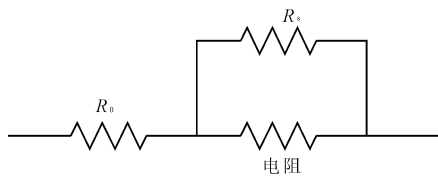


图 4 CTSV 滤波器电阻硬故障模型示意图

CTSV 滤波器电阻硬故障参照数字电路采用呆滞

型模型进行故障建模,如图 4 所示;其中呆滞开路故障通过在开路点串联一个大电阻($R_0 = 100 \text{ M}\Omega$)实现;呆滞短路故障通过在元件两端并联一个小电阻($R_s = 0.01 \text{ }\Omega$)实现。

CTSV 滤波器电阻软故障通过偏移标称值 $+/-6\delta$ 实现(δ 为正态分布值)。

2.2 全速电流测试仿真实验

IDDA 测试用 OrCAD/Pspice10.5 在 CTSV 滤波器电路输入节点 V_{in} 处加入测试序列后进行仿真实现,而 I_{DDA} 测量则由其内置函数求运放 HP0、BP0、LPO 的供电电源 V_{dd} 和 V_{ss} 在 1、2、3 个工作周期的平均电流值实现。

本研究分别对 CTSV 滤波器的正常工作模式以及电阻 R_1 、 R_3 、 R_4 开路、短路、 R_1 、 R_3 、 R_4 为 $8 \text{ k}\Omega$ 和 $12 \text{ k}\Omega$ 的容差故障等 12 种典型故障模式进行全速电流测试仿真实验,得到供电电源 V_{dd} 和 V_{ss} 在 1、2、3 个工作周期的平均电流值如表 1 所示。

表 1 CTSV 滤波器电路正常模式及 12 种典型故障模式的 I_{DDA}

工作模式	0 ns ~ 300 ns		0 ns ~ 600 ns		0 ns ~ 900 ns	
	I_{DDA}/V_{dd} (mA)	I_{DDA}/V_{ss} (mA)	I_{DDA}/V_{dd} (mA)	I_{DDA}/V_{ss} (mA)	I_{DDA}/V_{dd} (mA)	I_{DDA}/V_{ss} (mA)
正常工作	0.993	1.458	0.994	1.486	0.994	1.508
R_1 开路	1.004	0.886	1.004	0.886	1.004	0.886
R_3 开路	0.993	1.408	0.993	1.420	0.993	1.427
R_4 开路	0.993	1.477	0.993	1.509	0.994	1.537
R_1 短路	1.001	3.079	1.001	3.362	1.001	3.462
R_3 短路	0.996	1.681	0.997	1.782	0.998	1.853
R_4 短路	0.993	1.429	0.993	1.449	0.993	1.464
$R_1 = 8 \text{ k}\Omega$	0.993	1.536	0.994	1.575	0.994	1.609
$R_1 = 12 \text{ k}\Omega$	0.993	1.400	0.993	1.421	0.993	1.436
$R_3 = 8 \text{ k}\Omega$	0.993	1.476	0.994	1.509	0.994	1.536
$R_3 = 12 \text{ k}\Omega$	0.993	1.446	0.993	1.469	0.993	1.488
$R_4 = 8 \text{ k}\Omega$	0.993	1.455	0.993	1.482	0.994	1.504
$R_4 = 12 \text{ k}\Omega$	0.993	1.460	0.994	1.488	0.994	1.511

2.3 仿真结果分析

(1) 故障点位置对电源电流的影响。根据电阻 R_1 、 R_3 、 R_4 在 CTSV 滤波器电路中的位置,可将其视为近输入端、电路中间及远输入端 3 个典型位置。则 ITC'97 国际标准电路中的 CTSV 滤波器电路全速电流测试仿真实验结果显示故障点在电路中的位置对电源电流信号有较大的影响:故障点位于近输入端时,故障对电源信号影响较大;故障位于远输入端时,故障对电源信号的影响较小,而位于电路中间时则处于两者之间。

(2) 故障检测与定位。ITC'97 国际标准电路中的 CTSV 滤波器电路全速电流测试仿真实验结果表明,上述 12 种故障电路与无故障电路 V_{dd} 和 V_{ss} 的平均电

流值均有较大的差别,足以根据 V_{dd} 和 V_{ss} 的平均电流值作为故障特征实现电路的故障检测,因此,采用全速电流测试可实现电路故障信息获取,采用合适的故障诊断方法也有望实现基于 V_{dd} 和 V_{ss} 的平均电流值实现电路的故障诊断。

3 结束语

全速电流测试是电源电流测试中最有望实用化的测试方法,为满足 PCB 电路非介入式故障诊断的需求,本研究提出了基于全速电流测试的非介入获取 PCB 电路故障信息获取方法。ITC'97 国际标准电路中的 CTSV 滤波器电路的短路故障、开路故障及电路

容差故障状态下的全速电流测试仿真实验数据表明:对被测电路进行全速电流测试,采集电源电流在若干个工作周期内的平均电流值可实现非介入 PCB 电路故障信息的获取;并有望应用于印制电路板电路的非介入式故障诊断。

参考文献 (References):

- [1] 万九卿. 印制电路板故障诊断技术研究—基于统计模式识别理论的印制电路板非介入式故障诊断[D]. 北京:北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 2003.
- [2] 朱彦卿. 模拟和混合信号电路测试及故障诊断方法研究[D]. 长沙:湖南大学电气与信息工程学院, 2008.
- [3] 荀庆来. 微处理器全速电流测试实验研究[D]. 长沙:湖南大学计算机与通信学院, 2006.
- [4] 邓杭剑. PIC12F509 全速电流测试及自反馈测试研究[D]. 长沙:湖南大学计算机与通信学院, 2007.
- [5] MIN Ying-hua, KUANG Jis-hun, NIU Xiao-yan. At-speed

current testing [C]//Proceedings of the 12th Asian Test Symposium (ATS'03), 2003:396-399.

- [6] SAGARS S, WALKER M. Iddx-based test methods: a survey [J]. **Transactions on Design Automation of Electronic Systems**, 2004, 9(2):159-198.
- [7] 白金纬. 基于电流的数字集成电路故障诊断的方法研究[D]. 成都:电子科技大学自动化工程学院, 2005.
- [8] 邓晓茜. 数字系统动态电流 IDDT 测试技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学自动化学院, 2007.
- [9] KONDAGUNTURI R, BRADLEY E. Benchmark Circuits for Analog and Mixed Signal Testing[C]//Southeastcon'99. Proc., 1999:217-220.
- [10] 卢建林, 杨士元, 王 红, 等. 基于 PSPICE 进行模拟电路故障建模的方法[J]. **微电子学与计算机**, 2006, 23(7):17-19.
- [11] 李泉峰, 姚文熙, 吕征宇. 基于 PLECS 的三相隔离 BUCK 仿真研究[J]. **机电工程**, 2010, 27(12):110-112.

[编辑:张 翔]

(上接第 1276 页)

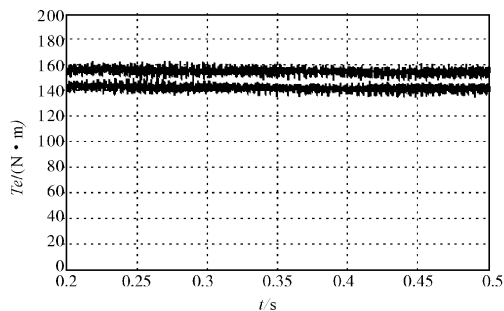


图 5 非正弦供电(上)和正弦供电(下)九相电机输出转矩比较

4 结束语

本研究建立了多相电机的数学模型,从磁动势的角度出发,深入探讨多相绕组的时空谐波与多相坐标变换的内在统一性。并对一台九相感应电机和一台三相感应电机进行有限元仿真。仿真结果证明,多相电机具有以下优势:①转矩脉动的幅值减小;②高可靠性,在一相或几相定子绕组发生故障对驱动系统起动和运行的影响相对较小;③多相电机具有多个控制自由度,利用该特性可以对多相电机注入谐波,进行非正弦供电,提高电机的输出转矩。

参考文献 (References):

- [1] SINGH G K. Multiphase induction machine drive research - a survey [J]. **Electronic Power System Research**, 2002 (61):139-147.
- [2] 康 敏, 黄 进. 9 相 3Y 电机的模型与比较分析[J]. **大电机技术**, 2009(8):20-24.

- [3] LEVI E. A novel concept of a multiphase, multi-motor vector controlled drive system supplied from a single voltage source inverter [J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2004, 19(2):320-325.
- [4] 黄 进. P 对极 n 相对称系统的变换理论 [J]. **电工技术学报**, 1995, 10(1):53-57.
- [5] KIANINEZHAD R, NAHID-MOBARAKEH B, BAGHI L, et al. Modeling and control of six-phase symmetrical induction machine under fault condition due to open phase [J]. **IEEE Transactions on industrial Electronics**, 2008, 55(5):1966-1977.
- [6] TOLIYAT H A, LIPO T A, WHITE J C. Analysis of a concentrated winding induction machine for adjustable speed drive applications part 2 [J]. **IEEE Transactions on Energy Conversin**, 1991, 6(4):684-692.
- [7] LUO Xiao-gang, LIAO Yue-feng, TOLIYAT H A, et al. Multiple coupled circuit modeling of induction machines [J]. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 1995, 31(2):311-318.
- [8] APSLEY J M. De-rating of multiphase induction machine s due to supply unbalance [C]//IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2009:1851-1857.
- [9] 薛 山, 温旭辉. 一种新颖的多相 SVPWM [J]. **电工技术学报**, 2006, 21(2):68-72.
- [10] 薛 山, 温旭辉, 王又珑. 多相永磁同步电机多维控制技术 [J]. **电工技术学报**, 2008, 23(9):65-69.
- [11] XU Huang-sheng. Rotor field oriented control of a five-phase induction motor with the combined fundamental and third harmonic injection [C]//Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2001:392-398.
- [12] 黄 进, 康 敏, 杨家强. 基于多相理论的新型单绕组无轴承电机 [J]. **浙江大学学报:工学版**, 2007, 41(11):1850-1856.

[编辑:张 翔]