

文章编号:1000-582X(2006)04-0012-03

基于 DSP 的高速转子动平衡测试系统的转速测试法

唐一科,彭浩,李文清

(重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

摘要:测速装置在动平衡仪中占有非常重要的地位.对测速装置的要求是精度高、稳定可靠和检测时间短.针对基于 DSP(digital signal processing)平台的高速转子动平衡测试系统的开发,介绍了一种基于 DSP 平台的转速基准信号测试方法.文中从转子基准信号的提取、DSP 转速测试和软件设计等方面讲述了该方法的实现.这种新的基于 DSP 的高速转子动平衡转速测试方法精度高、测速范围广、简单方便,适合于对不平衡量所引起的振动量幅值和相位的精确提取.

关键词:转速测试;DSP;转子动平衡

中图分类号:U463

文献标识码:A

大型旋转机械在运行过程中常常会因为转子的不平衡而影响正常的生产,为了减弱振动,生产过程中常需要对旋转机械进行动平衡^[1].传统的动平衡机和现场智能动平衡仪一般是以单片机为平台进行开发的,由于单片机的存储容量、运算速度、数据处理能力等的局限性,适用于中低转速转子动平衡,而 DSP(Digital Signal Processing)采用改进的 Harvard 结构,程序与数据存储空间分开,各有独立的地址总线 and 数据总线,取址和读数可同时进行,可以对数字信号执行快速的数学运算,其运算能力是普通处理器所无法比拟的.为此,研发了一种基于 DSP 数字处理芯片的高速转子动平衡测试分析系统,用于高速转子的现场动平衡.针对开发成功的基于 DSP 的高速转子动平衡系统(其总体结构框图如图 1),从基于 DSP 平台的转速基准信号提取、DSP 转速测试以及软件设计等方面详细讲述了系统中转速测速模块的实现.

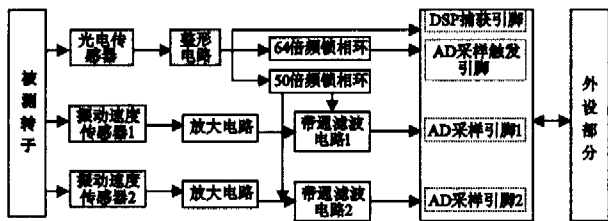


图1 系统总体结构框图

1 转子基准信号提取

系统采用转速传感器获得高速转子的转速基准信号.由于现场复杂的工况环境以及转速传感器产生脉

冲的机理,通常转速基准信号为非标准 TTL 脉冲电平.系统中转速基准信号的应用有 3 个方面:

1) DSP 捕获引脚测试转子转速,而转速传感器产生的 TTL 高电平为 +5 V,而 DSP 识别的高电平为 +3.3 V、低电平为 0 V,因此必须采用硬件电路实现电平变换.

2) 锁相环路对基准信号 64 倍频,实现对不同转速转子整周期 64 点采样.

3) 采用锁相环路对基准信号 50 倍频,以提供四阶开关电容滤波器 MF10ccn 时钟脉冲,实现以转子转速为中心频率的自适应带通滤波器.

因此转速基准信号的质量关系到系统整体设计思想的成败,在系统中采用 LM393 构成基准信号整形电路如图 2,获得上升沿和下降沿都很规则的基准信号脉冲矩形波.

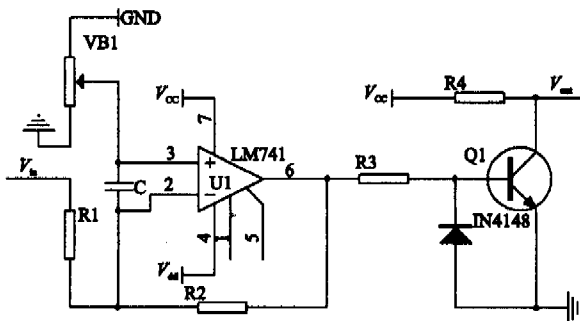


图2 基准信号整形电路

比较器 LM741 正相输入为比较参考电压,反相输入端接基准信号.当 $V_{in} > V_{+}$ 时, Q_1 截止,电路输出 V_{out}

为高电平,当 $V_{in} < V_r$ 时, Q_1 饱和导通, V_{out} 为低电平^[2-3].

2 DSP 事件管理器捕获单元转速原理

系统 DSP 采用 TMS320LF2407, 2 个事件管理器 EVA、EVB, EVA 与它相关的捕获单元引脚有 3 个, 分别为 CAP1、CAP2、CAP3, 以通用定时器 1 或 2 作为它们的时基; EVB 相关的捕获单元引脚有 CAP4、CAP5、CAP6, 以通用定时器 3 或 4 为时基. 其中, EVA 捕获单元结构框图如图 3 所示^[4-5].

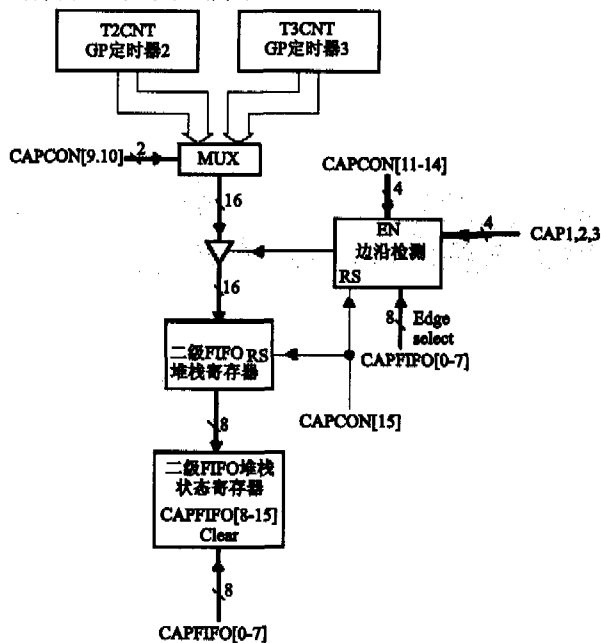


图 3 EVA 捕获单元结构框图

当捕获单元使能后,输入引脚上的指定跳变(上升沿、下降沿或上升下降沿)将所选通用定时器的计数值装入到相应的 FIFO(先入先出)栈.与此同时相应的中断标志被置位,若该中断没有屏蔽,则外设中断将产生一个中断请求信号.每当捕获到的新计数值存入到 FIFO 栈时,捕获 FIFO 状态寄存器(CAPFIFOX)的相应位就进行调整以反映 FIFO 栈新的状态.从捕获单元输入引脚处发生跳变到所选通用定时器的计数值被锁存之间的延时需要 2 个 CPU 时钟周期(每个时钟周期为 42 ns),因此每个输入脉冲信号必须在引脚上保持 2 个 CPU 时钟周期.具体的捕获转速测试过程如下:

第 1 次捕获时,当捕获单元的输入引脚出现指定的跳变时,捕获单元将捕获到的所选通用定时器的计数值写入到空栈的顶层寄存器.同时 CAPFIFOX 寄存器中相应的 FIFO 状态位被置成 01.若在下一一次捕获前对 FIFO 栈进行了读访问,则 FIFO 状态位被复位为 00.

第 2 次捕获时,若在前次捕获计数值读取之前产生了另外一次捕获,则新的捕获到的计数值送至底层寄存器.同时 CAPFIFOX 寄存器中相应的 FIFO 状态为被置成 10.如果在下一一次捕获前对 FIFO 堆栈进行了

读访问,顶层寄存器中的旧计数值被读取,且底层寄存器中的新计数值被压入到顶层寄存器中,则 FIFO 状态位被置成为 01.

第 3 次捕获时,如果在捕获发生时 FIFO 栈中已有两个捕获到的计数值,则位于栈顶层寄存器中最旧的计数值将被弹出栈而丢弃,且堆栈底层寄存器中的计数值将压入到顶层寄存器中,新捕获到的计数值被压入到底层寄存器中,这时 FIFO 状态位置 11.

当进行捕获时 FIFO 中至少有一个捕获到的计数值时,则相应的中断标志被置位.当使能中断后,从中断服务程序中读取捕获到的计数值,计算相邻两次捕获值差的倒数便得到转速.

3 基于 DSP 转速测试

捕获引脚上出现指定跳变时,LF2407 的捕获单元自动将定时器计数器的值送入 FIFO 栈,不用通过中断程序来起停定时器.系统时钟周期为 41.67 ns,定时器经 128 预分频后,单次最大计数时间为 0.349 52 s.系统转速送液晶实时显示,每 16 个周期取平均值刷新一次,转速测量软件框图如图 4,中断程序流程图如图 5^[4].

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{17} \text{count}_i}{24 \times 10^6 \times 16}, \quad (1)$$

$$n = \frac{60}{n}, \quad (2)$$

式是, T 为转子周期, n 为转子转速, count_i 为转子周期数.

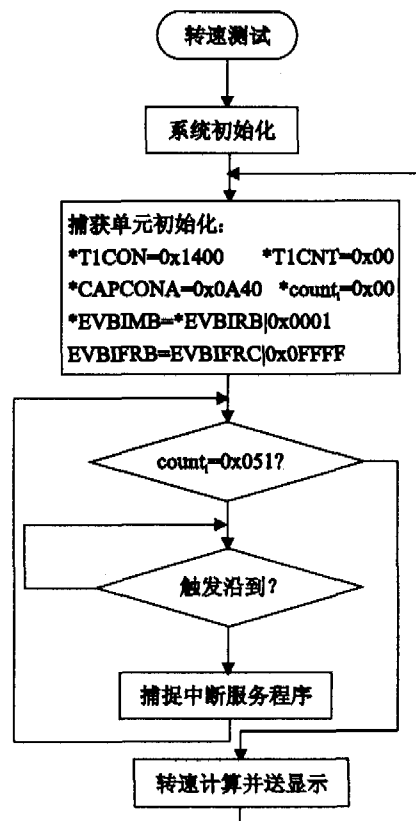


图 4 转速测试软件框图

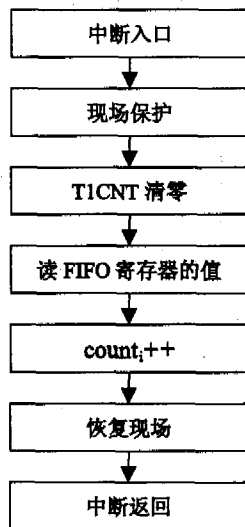


图5 转速测试中断流程图

4 试验及结果

在该动平衡测试系统中,转子理论转速,实测转速以及相对误差如表1所示。

表1 不同转子转速下的实测转速和相对误差

转子频率 /Hz	理论转速 /r·min ⁻¹	实测转速 /r·min ⁻¹	相对误差 /%
3	180	180	0.000
5	300	300	0.000
20	1 200	1 200	0.000
70	4 200	4 200	0.000
85	5 100	5 102	0.039
100	6 000	6 003	0.050
180	10 800	10 806	0.056

续表1

转子频率 /Hz	理论转速 /r·min ⁻¹	实测转速 /r·min ⁻¹	相对误差 /%
500	30 000	30 056	0.186
800	48 000	48 094	0.196
850	51 000	51 136	0.267
890	53 400	53 571	0.320

可见,该动平衡测试系统中,其转速测试范围可在180~53 400 r·min⁻¹,转速测量的最大误差不超过0.32%,在180~4 200 r·min⁻¹的转速范围内,几乎没有转速测量误差,试验结果令人满意。

5 结束语

基于DSP的高速转子动平衡测试系统的转速测量法,具有测速范围广,测量精度高,能够实时、简单方便地获得系统转速值等优点。为高速转子动平衡测试系统的实现提供了可靠的保障。

参考文献:

- [1] 张志新,童水光,张洪亮.智能动平衡仪中转速测量方法研究[J].流体机械,2002,30(9):32-35.
- [2] 邓汉馨.模拟电子技术基础教程[M].北京:高等教育出版社,1986.
- [3] 张纪成.电路与电子技术[M].北京:电子工业出版社,2002.
- [4] 刘和平. TMS320LF240x DSP 结构、原理及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [5] TEXAS INSTRUMENTS. Designer's guide and reference[M]. USA: The Jarvis Press, 1999.
- [6] TEXAS INSTRUMENTS. TMS320c20x user's guide[M]. USA: The Jarvis Press, 1999.

Method of Measuring Rotational Speed for a High-speed Rotator Dynamic-balancing Testing System Based on DSP

TANG Yi-ke, PENG Hao, LI Wen-qing

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The device of testing rotational speed is very important to dynamic-balancing testing system. Requirements for the device of testing rotational speed include: high-accuracy, stabilization, credibility, and shorter testing time. To the development of high-speed rotor dynamic-balancing testing system based on DSP (digital signal processing), the way of picking-up rotator reference signal, testing rotator speed based on DSP and the design of software are introduced. This new way of testing rotational speed in high-speed rotor dynamic-balancing testing system based on DSP is accurate, simple, convenient, the range of rotational speed which can test is broad, and the new way is very suitable to pick-up the amplitude and phase of vibration caused by unbalanced amount.

Key words: testing rotational speed; DSP; rotor dynamic-balancing