

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.09.019

## 利用最佳分频实现高精度频率测量

黄盛霖<sup>1</sup>, 沈聪辉<sup>1</sup>, 赵晓娟<sup>2</sup>, 刘润杰<sup>1</sup>

(1. 海军航空工程学院科研部, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军第 9601 厂, 北京 100009)

**摘要:** 根据频率测量中的主要误差来源, 提出利用最佳分频来实现高精度频率测量的方法。针对导弹测量的实际应用, 以计数测频法中的等精度测频法为基础, 利用最佳分频的 2 条原则, 在 QUARTUS 平台上对设计进行仿真。仿真结果证明: 该方法能继承等精度测频的优点, 满足 100 MHz 以内的频率测量, 改进等精度测频需要固定的闸门选通时间的不足。

**关键词:** 高精度频率测量; 最佳分频; 等精度频率测量; QUARTUS

**中图分类号:** TJ760.6 **文献标志码:** A

## High-Accuracy Frequency Measurement by Best Frequency-Divider

Huang Shenglin<sup>1</sup>, Shen Conghui<sup>1</sup>, Zhao Xiaojuan<sup>2</sup>, Liu Runjie<sup>1</sup>(1. Dept. of Scientific & Research, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;  
2. No. 9601 Factory of PLA, Beijing 100009, China)

**Abstract:** In order to solving the errors of frequency measurement, and put forward the method of best frequency-divider to realize high-accuracy frequency measurement. It aimed at the problems of missile measurement, in the end the design was simulated on the QUARTUS platform by the two principles of best frequency-dividing method based on equal-accuracy frequency measurement. Finally it was proved that the best frequency-dividing method inherited the advantages of equal-accuracy frequency measurement, it was able to measure frequency within 100 MHz, and it also bettered the disadvantages of equal-accuracy frequency measurement whose open time of counter is fixed.

**Keywords:** high-accuracy frequency measurement; best frequency-divider; equal-accuracy frequency measurement; QUARTUS

### 0 前言

频率是周期信号的一项重要指标。对于周期未知的信号, 实现频率的精确测量尤为重要。频率测量主要分为模拟法测频和计数法测频, 其中计数法测频最常见。目前, 针对计数法测频, 出现了比较有效的消除 $\pm 1$ 误差的方法, 其中等精度测频法和相位检测法最具代表性, 但是这 2 种方法都有一定的缺陷。等精度测频法<sup>[1]</sup>的闸门选通时间采用固定值不太切合实际, 例如当闸门选通时间为 1 s 时, 100 MHz 的信号计数个数为 104 857 600 个, 需要 27 位的计数器, 测频时间太长。相位检测法<sup>[2]</sup>的相位重合点是成簇出现的, 实现起来难度非常大。因此, 笔者利用最佳分频的方法, 根据被测信号的实际频率大小选择合适的分频, 进行 100 MHz 以内的信号的频率测量, 实现起来比较简单、快速、有效, 具有一定的实际应用价值。

### 1 测量原理

#### 1.1 总体设计<sup>[3-6]</sup>

如图 1, 频率计由中心控制模块、智能化分频

模块和计数器模块 3 部分构成。1) 中心控制模块控制提供计数器的控制信号, 以控制计数器的开启、关闭以及清零, 并对计数器的数值进行相应的处理, 以及负责和上位机之间的通信。2) 智能化分频模块的输入  $f_x$  由被测周期信号经过放大、整形后获得,  $f_o$  由基准时钟提供,  $f_x$  和  $f_o$  的分频比控制字  $M$ 、 $N$  由上位机根据调整后的结果传送给分频模块。分频模块根据分频比控制字产生相应的频率信号  $f_x'$  和  $f_o'$ 。3) 计数器模块由 2 个可以同时控制的计数器构成, 分别对  $f_x'$  和  $f_o'$  进行计数, 计数值可以达到 21 位。

#### 1.2 智能分频模块的设计

智能分频模块如图 2, 实现对 CLK0 和 CLK0\_FX 的分频处理, 对 CLK0 的分频可以用 AITPLL 实现, 因为 PLL 专业的电路设计可以实现高精度的分频。但 ALTPLL 的输入频率是固定的, 对于被测信号 CLK0\_FX, 由于频率未知, ALTPLL 显然无法满足其要求, 因此可以使用输入频率无限制的分频器 7456。笔者用一个 ALTPLL 对  $f_o$  实现

收稿日期: 2011-05-16; 修回日期: 2011-06-16

基金项目: 武器装备预研基金项目(9140A2507208JB1402)

作者简介: 黄盛霖(1962—), 男, 湖北人, 硕士, 教授, 从事自动测试系统集成及应用研究。

10分频、100分频和1000分频,用2个7456级联对fx实现10分频和100分频。频率控制字M和N

分别控制2片四选一复选器,实现智能选频。频率控制字和分频比的关系如表1。

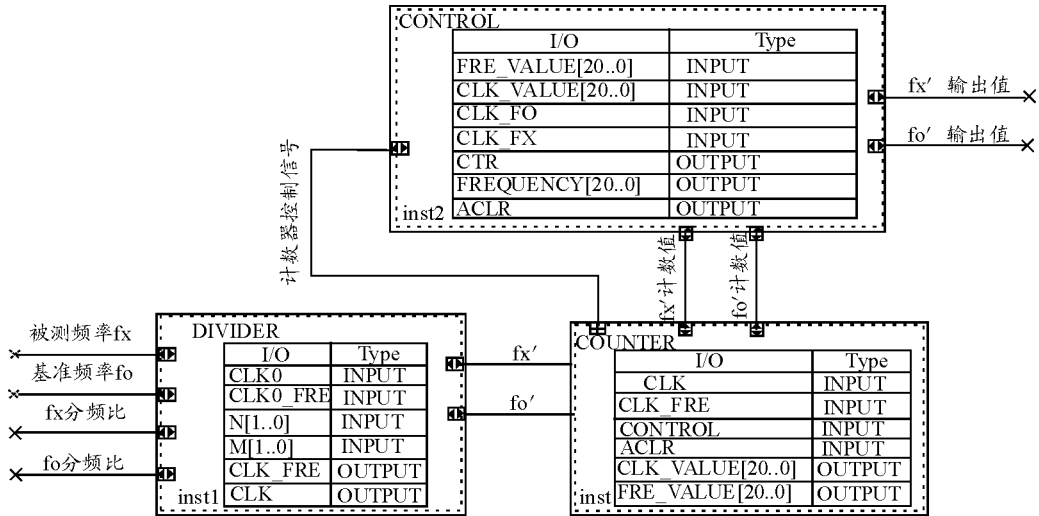


图1 频率计的原理图

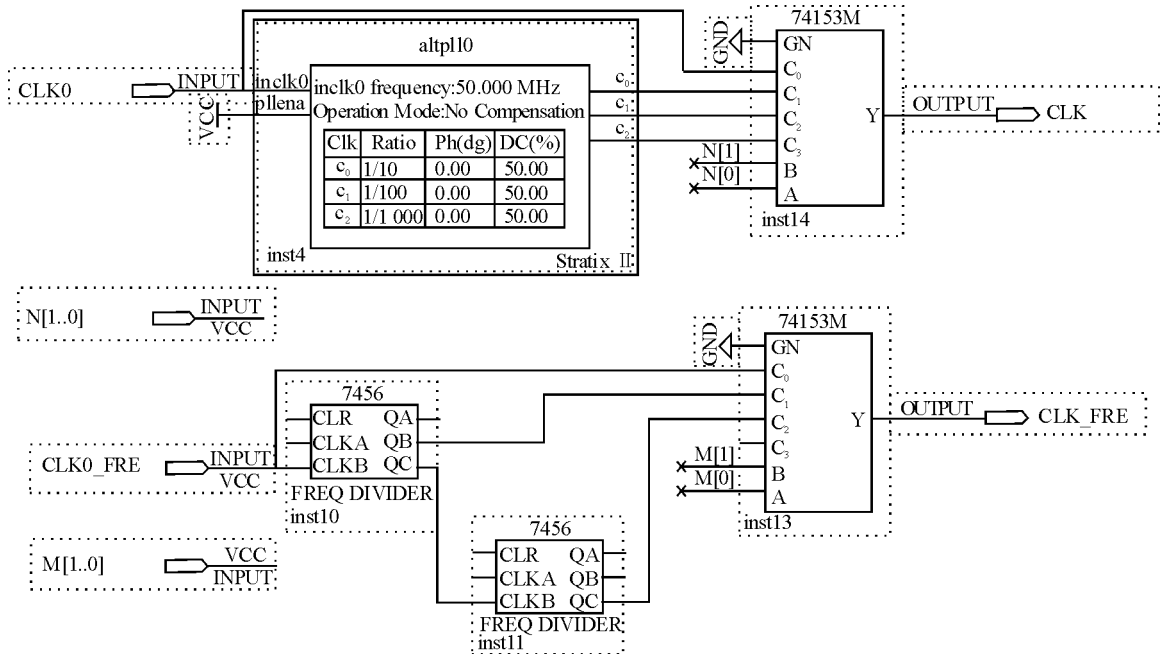


图2 智能分频模块的设计图

表1 频率控制字和分频比的关系

控制字 N	fo 分频比	控制字 M	fx 分频比
00	1分频	00	1分频
01	10分频	01	10分频
10	100分频	10	100分频
11	1000分频	11	—

1.3 计数器模块的设计

计数器模块如图3,由2个计数值可达21位的计数器构成。中心控制模块检测fx'和fo'的变化,当fx'第一个上升沿到来时开始计数,当fx'下一个上升沿到来时停止计数。计数器的启动和停止是由中心控制模块发出的CONTROL信号进行控制的,CONTROL信号连接到计数器的使能端CNT\_EN1,

CNT\_EN1为高电平有效。计数器的清零由中心控制模块发出的ACLR信号控制,ACLR信号连接到计数器的清零端ACLR1,ACLR1同样为高电平有效。这样,中心控制模块就根据fx'和fo'的变化产生CONTROL信号,在CONTROL信号有效之前首先对计数器清零,从而保证每个计数周期的准确计数。

2 最佳分频的选择

2.1 计数法测频的误差来源<sup>[7-8]</sup>

1) 量化误差(±1误差)

量化误差是由计数器闸门的实际开启时刻不一

致而带来的计数值的±1 的误差。

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \frac{1}{N}$$

### 2) 触发误差

触发误差又称为变换误差。被测信号在整形过程中，由于整形电路本身触发电平的抖动或者被测信号叠加有噪声和各种干扰信号等原因，使得整形

后的脉冲周期不等于被测信号的周期，由此产生的误差称为触发误差。

### 3) 标准频率误差

标准频率误差是指由于晶振信号的不稳定等原因而产生的误差。其中触发误差和标准频率误差是无法避免的，对于计数法测频如何消除量化误差才是行之有效的办法。

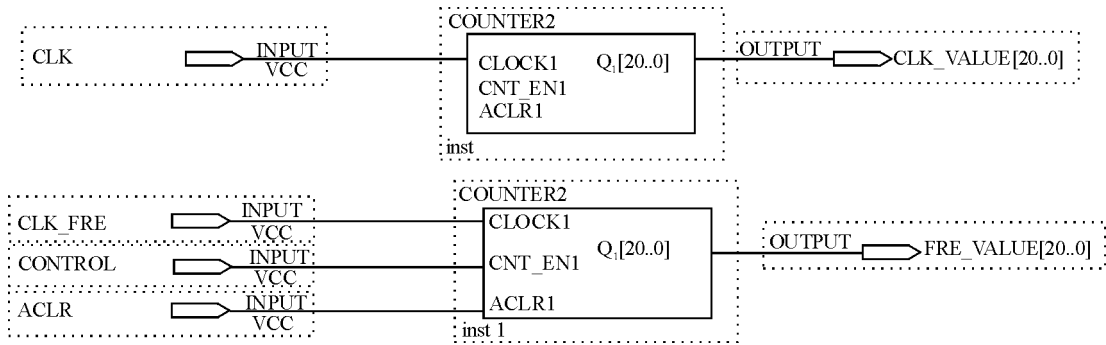


图 3 计数器模块的设计

## 2.2 最佳分频的选择

最佳分频倍频比的选择遵循 2 种原则：

1) 基准频率  $f_0$  不是越高越好,  $f_0$  超过 100 MHz 时很容易产生量化误差。

2) 计数值的大小要适中, 计数值为 10 以下时基准频率和被测频率相对误差较大, 计数值为 50 000 以上时测量时间过长。基于以上原则, 要实现 100 MHz 以内的频率测量, 选用的基准频率  $f_0=50$  MHz。具体分频倍频比的选择如下 (N 为  $f_0$  的分频比控制字, M 为  $f_x$  的分频比, 控制字见表 1)。

- 当  $50 \text{ M} < f_x < 100 \text{ M}$  时,  $M=10, N=00$ ;
- 当  $5 \text{ M} <= f_x <= 50 \text{ M}$  时,  $M=01, N=00$ ;
- 当  $1 \text{ K} < f_x < 5 \text{ M}$  时,  $M=00, N=00$ ;
- 当  $100 < f_x < 1 \text{ K}$  时,  $M=00, N=10$ ;
- 当  $0 < f_x < 100$  时,  $M=00, N=11$ 。

## 3 仿真结果

笔者用 QUARTUS 进行仿真, 仿真数据如图 4~图 7。仿真结果证明, 笔者选用的最佳分频比能够实现高精度的频率测量。

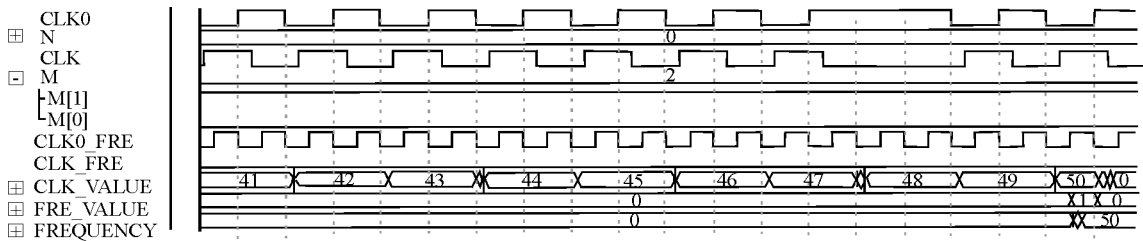


图 4  $f_0=50 \text{ MHz}, f_x=100 \text{ MHz}, N=00, M=10$  时的仿真曲线

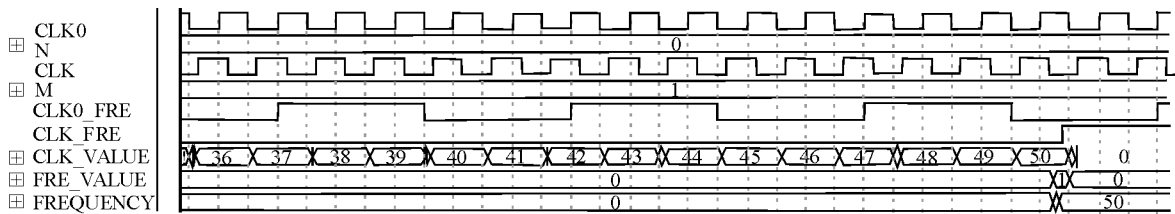


图 5  $f_0=50 \text{ MHz}, f_x=10 \text{ MHz}, N=00, M=01$  时的仿真曲线

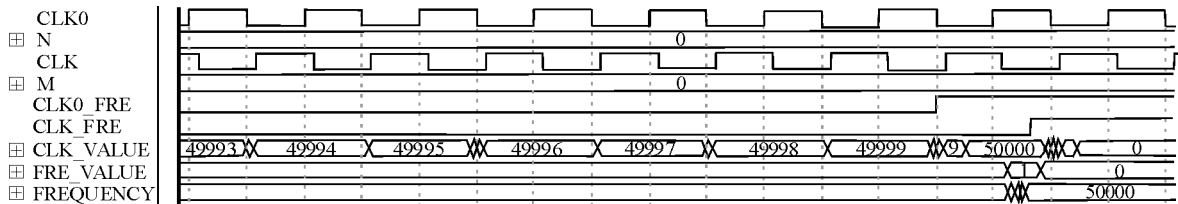


图 6  $f_0=50 \text{ MHz}, f_x=1 \text{ kHz}, N=00, M=00$  时的仿真曲线

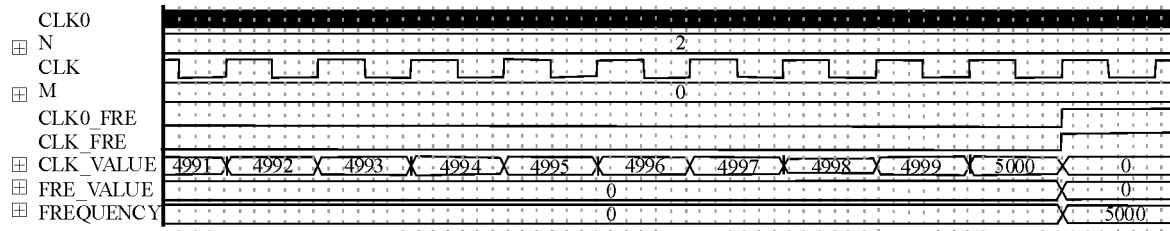


图7 fo=50 MHz, fx=100 Hz, N=11, M=00 时的仿真曲线

### 4 结论

利用最佳分频比的方法进行高精度的频率测量, 与等精度测频法和相位检测法相比实现起来更加简单易行。笔者提出了最佳分频比选择时的 2 条原则, 并对 100 MHz 以内频率信号的最佳分频比进行了选择, 最终通过 QUARTUS 对所选择的最佳分频比进行了验证。实验结果表明: 利用最佳分频比测量 100 MHz 以内的频率信号能够有效地消除量化误差, 且测量时间不超过 5 s, 真正实现了快速、精确的频率测量。

### 参考文献:

[1] 席鹏, 李军. 基于 DSP 和 CPLD 的高精度频率测量系统

\*\*\*\*\*

(上接第 55 页)

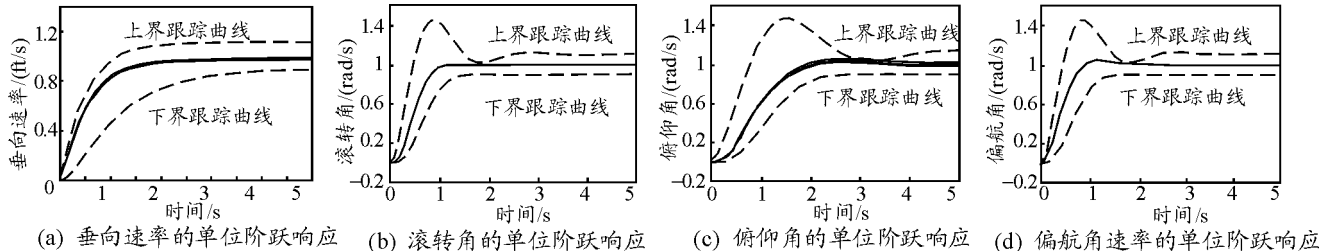


图3 飞行包线上 6 个对象的四通道闭环阶跃响应曲线

### 3 结束语

仿真结果表明: QFT 控制器能够解决由于飞行包线上对象数学模型不确定性所造成的控制系统鲁棒性问题, 并且有良好的跟踪性能。

### 参考文献:

[1] Marco La Civita. Integrated Modeling and Robust Control for Full-Envelope Flight of Robotic Helicopters[J]. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2003, 21(6): 552-557.  
 [2] Yusong Jiao, Xinmin Wang, Xiang Yu. Robust Reliable Gain Scheduling Control for Helicopters[J]. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Automation and Logistics. 2008, 12(8): 22-45.  
 [3] Bourhane Kadmiry, Dimitar Driankov. A Fuzzy Gain-Scheduler for The Attitude Control of An Unmanned Helicopter[J]. IEEE transactions on fuzzy systems, 2004,

设计[J]. 航空计算技术, 2010(40): 114-115.  
 [2] 王海, 周渭, 宣宗强. 高精度频率测量技术及其实现[J]. 系统工程与电子技术, 2008(30): 981-983.  
 [3] Johnson H, C rahan M. 高速数字设计[M]. 沈立, 朱来文, 陈宏伟, 等译. 北京: 电子业出版社, 2004: 100-300.  
 [4] John F.Wakerly. 数字设计原理与实践[M]. 林生, 葛红, 金京林, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2007.  
 [5] Robert K.Dueck. 数字系统设计——CPLD 应用与 VHDL 编程[M]. 张春, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2007.  
 [6] 褚振勇, 齐亮, 等. FPGA 设计及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.  
 [7] 高春昱, 金来专, 李艳. 基于 FPGA 技术的测频系统的研究[EB/OL]. 中国知网. 学术交流.  
 [8] 王耀琦, 王小鹏, 王静. 基于 CPLD/FPGA 的任意分频器设计研究与仿真[J]. 兰州交通大学学报, 2010(29): 10-13.

12(4): 502-515.  
 [4] Snell S A, Enns D F. Nonlinear Inversion Flight Control for A Supermaneuverable Aircraft[J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, July-August 1992, 15(4):976-984.  
 [5] Stevens B L, Lewis F L. Aircraft Control And Simulation[J]. John Wiley & Sons. Inc, 1992, 28(4):44-59.  
 [6] Peter James Gorder. A Robust Rotorcraft Flight Control System Design Methodology Utilizing Quantitative Feedback Theory[D]. University of California, Davis, 1996.  
 [7] 花迺蒙. 直升机全包线飞行控制器的设计和三维动画仿真平台[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2006: 37-62.  
 [8] Lu Zhigang, Wu Shicang, Yu Linghui. Nonlinear Adaptive Inverse Control And Its Application[M]. Beijing: National Defense Industrial Press, 2004: 33-45.  
 [9] Horowitz, I. Quantitative feedback theory[J]. IEE PROC., 1982, 129(6): 215-226.  
 [10] Kathryn B. Hilbert, A Mathematical Model of the UH60 Helicopter[J]. NASA TM-85890, 1984: 15-21.