

液体火箭发动机试验 频率量信号的处理与仿真

李琪琪, 叶斌, 陈锋, 董文华
(北京航天试验技术研究所, 北京 100074)

摘要: 液体火箭发动机试验中频率量(流量、转速)数据曲线不规整, 存在着“毛刺”, 影响了数据的准确性。采用仿真方法优化频率量信号采集模式, 并用实际试验数据进行了验证。结果表明, 仿真方法优化频率信号采集模式能有效地减少频率量曲线中的“毛刺”。

关键词: 液体火箭发动机试验; 数据处理; 系统仿真

中图分类号: V434.3 文献标识码: A 文章编号: (2008) 05-0039-04

Processing and simulating of frequency signal in liquid propellant rocket engine test

Li Qiqi, Ye Bin, Chen Feng, Dong Wenhua
(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: In test of liquid propellant rocket engine, burr's occurrence in the data curve of frequency signal such as flow rate and rotating speed of pump affects the accuracy of measured data. According to optimizing the sampling mode of frequency signal, a simulation method is adopted to reduce the occurring burr in this paper. The method mentioned has been verified in real test and the result shows that it can reduce the burr of the frequency curve effectively.

Key words: liquid propellant rocket engine test; data process; system simulation

0 引言

在液体火箭发动机试验中, 与频率量相关的

流量和转速都是发动机的关键参数。特别是转速, 它是发动机紧急关机的判断条件之一。目前 Pacific 6000 采集系统采集得到的频率量数据曲线如图 1 所示, 经常存在很多毛刺, 影响了数据的

收稿日期: 2008-08-06; 修回日期: 2008-09-11。基金项目: 民用航天科研预先研究项目(C2220060304)。

作者简介: 李琪琪(1981—), 女, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机试验数据分析、数字信号处理。

准确性。采用 Matlab 软件对现有采集系统采集频率量信号的过程进行了仿真,从仿真结果中分析频率量信号曲线中毛刺存在的原因,提出了改进方案。通过模拟信号进行仿真分析,并用某型号液体火箭发动机的实测信号进行了验证。

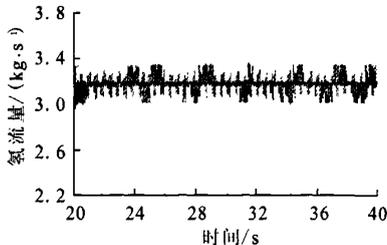


图1 某次试验氢流量数据曲线图

Fig.1 Data curve of hydrogen flow for a test

1 信号特征分析

液体火箭发动机稳态工作过程中,转速和流量都是平稳的,因此采集得到的数据曲线也应该是平稳的。但是,目前 Pacific6000 采集系统采集得到的转速和流量数据并不平稳。因为转速传感器和涡轮流量计(文中统称“传感器”)都是机械加工结构,产生的信号不可能像标准信号源产生的信号一样平稳,而使采集到的数据曲线中存在着毛刺。为了研究与频率量相关的转速和流量曲线中毛刺存在的原因,以某次试验氢流量为例,对频率量信号测量过程进行分析。

目前液体火箭发动机试验中测量频率量信号的方法:传感器信号首先通过信号预处理仪处理成 TTL 方波信号,然后 Pacific 6000 采集系统通过 6048 计数板卡测量 TTL 方波信号周期(以下简称“测周”),得到频率量,最终换算成与频率量对应的物理量。

2 测量系统仿真分析

为了分析曲线中存在的毛刺是否为测量过程引起的,采用 Matlab 仿真 Pacific 6000 采集系统通过测量 TTL 方波周期的方法得到流量信号的整个过程,测量系统仿真如图 2 所示。

图 2 中传感器信号为试验中传感器输出的信号,信号预处理部分为:对传感器信号进行放大、整形处理,最后通过 Pacific 6000 测周模式测量频率量。系统采用 Matlab 软件虚拟仿真完成,替代真实测量系统中的信号预处理仪和数据采集系统的硬件设备。

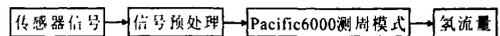


图2 测量系统仿真框图

Fig.2 Simulating diagram of the measuring system

2.1 仿真条件

仿真过程基本做到与实际测量过程一致,系统采样频率为 1kHz,传感器信号为实测信号,利用测周的方法得到氢流量。

2.2 仿真结果

仿真测周得到的氢流量如图 3 所示。从图 3 可以看出,仿真得到的氢流量数据曲线与图 1 实际采集的氢流量数据曲线基本一致,即通过测周方法得到的频率量曲线中存在着很多毛刺。

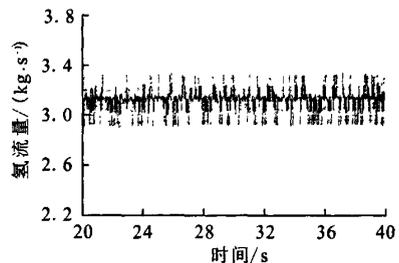


图3 仿真测周得到的氢流量曲线图

Fig.3 Simulating hydrogen flow data curve of measuring cycle

3 测量模式仿真

3.1 测量模式

Pacific 6000 采集系统用来测量频率量的 6048 板卡有三种测量模式,即计数模式、测周模式及测频模式。计数模式有两种常用配置,一种配置是“模拟输入和读取后不清零”,即 6048 板卡记录从开始采集到最终结束计数模拟信号过零次数。另一种配置是“每次采样后复位计数值”它用于计数信号在采样间隔的过零次数。以上两

种配置均不能实时地测量信号频率, 不符合试验中对频率量信号测量的要求。测周模式和测频模式可以根据试验要求设置时间间隔点, 并直接测量 TTL 信号的频率, 这两种测量模式更符合试验对频率量参数测量实时性的要求。

3.2 仿真条件与方案

3.2.1 仿真条件

Pacific 6000 频率测量选择测周和测频模式。根据参数实际测量需要, 测频模式时, 时基信号选择 10Hz。

3.2.2 仿真方案

当假设传感器信号为一标准正弦信号, 利用 Matlab 仿真软件进行 Pacific 6000 测周模式、测频模式仿真。仿真结果显示, 测周模式和测频模式都可以稳定准确的测量出氢流量值。此时, 两种测量模式的测量稳定性没有差别。本文主要对传感器信号为非单一频率的正弦信号, 利用 Matlab 对 Pacific 6000 测周模式、测频模式进行仿真, 通过仿真结果比较两种测量模式的测量结果。

设被测信号为一个周期内包含的主频分量分别为 250Hz, 260Hz 及 280Hz 的正弦信号, 其对应的流量值为: 2.69057kg/s~2.9896kg/s。

3.3 仿真结果分析

传感器信号为非单一频率的正弦信号时, Pacific 6000 系统测周和测频得到的氢流量结果分别如图 4, 图 5 所示。

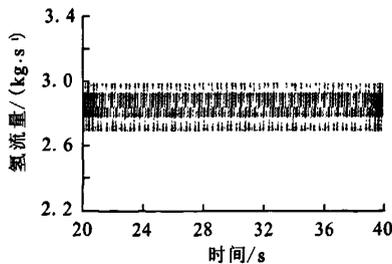


图 4 仿真非单一频率正弦信号测周得到流量数据曲线图
Fig.4 Simulating flow data curve of measuring non-single-frequency sine wave's cycle

从图 4 和图 5 的仿真结果中可以看出, 当被测信号是非单一频率的正弦信号时, 测周模式测量得到的氢流量曲线中存在很多的毛刺, 测频模

式测量得到的氢流量曲线比较光滑, 但是此时由于被测信号的频率和时基信号倍数相差不大, 测量的参数曲线已经不能反应被测参数的变化, 为了解决这个问题提出解决方案并进行仿真验证。

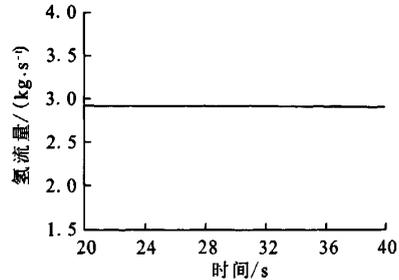


图 5 仿真非单一频率正弦信号测频得到流量数据曲线图
Fig.5 Simulating flow data curve of measuring non-single-frequency sine wave's frequency

4 解决方案与验证

4.1 解决方案

在测频模式时, 在相同的时基信号下, 被测信号的频率越高, 测量结果越准确。因此, 为了提高频率量参数测量精度, 可采用对低频信号倍频的方法, 即在测频前先对低频 TTL 信号进行倍频处理来提高信号频率, 采集后再对测得的频率量进行相应的分频处理。为了验证倍频处理的有效性, 对某次试验氢流量信号倍频处理后, 通过测频模式进行数据采集, 采集过程仍采用 Matlab 软件虚拟仿真完成。

4.2 方案仿真

利用 Matlab 对 TTL 信号进行了不同倍频处理, 系统仿真如图 6 所示。

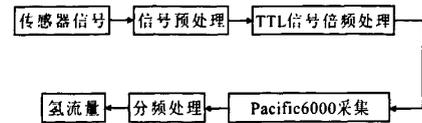


图 6 TTL 信号倍频处理, Pacific6000 测频模式测量频率量信号流程图

Fig.6 Measuring frequency signal flow chart of multiplying TTL signal's frequency in Pacific6000's measuring frequency mode

图 6 中传感器信号为试验中传感器输出的信号, 信号预处理、TTL 信号倍频处理、Pacific

6000采集、分频处理部分均采用 Matlab 软件虚拟仿真完成。替代真实测量系统中的信号预处理仪、倍频 TTL 信号电路、数据采集系统、分频电路硬件设备。

设传感器信号为一叠加的正弦信号，一个周期内包含的主频分量为 250Hz、260Hz 及 280Hz，其对应的流量值为 2.69057kg/s~2.9896kg/s。对其经过信号预处理得到的 TTL 方波信号进行不同的倍频处理，测频得到氢流量。系统采样频率为 1kHz，时基信号为 10Hz，对 TTL 信号的倍频倍数可根据实际需要进行设定。以对 TTL 信号 100 倍频处理为例进行了仿真分析。

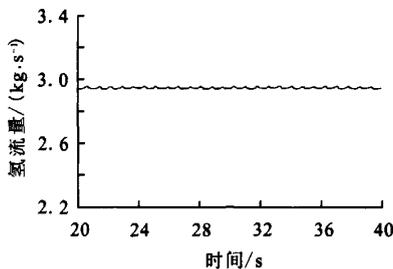


图 7 仿真 TTL 信号 100 倍频，氢流量曲线图
Fig.7 Simulating hydrogen flow data curve of multiplying TTL signal's frequency by 100 times

图 7 为仿真 TTL 信号进行 100 倍频处理得到的流量数据曲线图。从图 7 中可以看出，曲线随着 TTL 信号倍频数的增加曲线的改善效果也随着提高。由此可见，对 TTL 方波信号进行倍频处理后，有效地降低了测频模式对低频信号测量时产生的误差，提高了频率量参数测量的精度。

4.3 验证

图 8 为某型号发动机某次试验氢流量数据分别进行 100 倍频处理后得到的数据曲线图。

从图 8 的仿真图中可以看出，由于采用了对待 TTL 信号的倍频处理，得到的氢流量曲线不仅可以及时地反映出频率量变化的细节，而且提高了测量的精度。与测周方法得到的频率量曲线相比，图 8 中的氢流量曲线中已经不存在毛刺，提高了测量的精度。

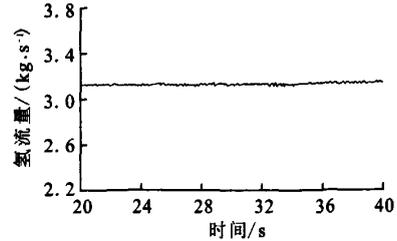


图 8 试验数据，仿真 TTL 信号 100 倍频，氢流量曲线图
Fig.8 Data of test, simulating hydrogen flow curve of multiplying TTL signal's frequency by 100 times

5 结论

(1) 频率量数据曲线中存在的“毛刺”是由传感器机械结构引起的。通过仿真分析可知，可通过改变测量模式来改善这一现象。

(2) 利用 Pacific 6000 采集系统测频方法得到的氢流量信号与测周的方法相比，氢流量曲线有了明显的改善，有效地减少了频率量曲线中的毛刺。

(3) 根据某型号发动机试验测量的氢流量信号属于低频信号的特点，在测频模式下，选择 10Hz 的时基信号。并对 TTL 方波信号在采集前做倍频处理，采集后做分频处理，可以提高测量精度。

(4) 在分析与仿真实验的基础上，已对某型号发动机试验的氢流量信号测量过程进行了验证，并达到了预期的效果。

参考文献：

- [1] 郭霄峰. 液体火箭发动机试验[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2005.
- [2] 丛玉良. 数字信号处理[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2000.
- [3] 胡广书. 数字信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [4] 张迎新, 雷道振, 陈胜, 等. 非电量测量技术基础[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [5] 张志涌. 精通 Matlab 大全(6.5 版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.

(编辑: 马 杰)