

# 大功率微波加热设备的模拟信号传输系统设计

孙浩杰, 周新志, 雷印杰

(四川大学 电子信息学院, 成都 610065)

**摘要:** 在复杂环境下, 工业大功率微波加热设备中模拟信号传输系统的设计, 对于设备的精确控制和安全运行至关重要; 针对现有的模拟信号传输方案在复杂电磁环境下抗干扰能力低下的缺陷, 提出一种基于光纤, 并整合 V/F 转换器和 FPGA 组成的模拟信号传输解决方案; 经过仿真分析和实验验证, 该模拟信号传输系统抗复杂电磁干扰能力优于现有方案, 同时传输精度高, 连续传输误差小于 0.1%; 该系统为复杂环境下工业大功率微波加热设备中模拟信号的传输提供了一个性能优良的解决方案。

**关键词:** 微波加热; 电磁干扰; 模拟信号; V/F 转换; 光纤; FPGA

## Analog Signal Transmission System of High Power Microwave Heating Equipment

Sun Haojie, Zhou Xinzhi, Lei Yinjie

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Under the complex environment, in high power microwave heating equipment of the industry, accurate transmission of the analog signal is vital for the accuracy control and safety of the equipment. In view of the existing analog signal transmission scheme in complex electromagnetic environment of defects of low anti-interference ability, put forward an analog signal transmission solution based on optical fiber, and composed of V/F converter and FPGA. Through the simulation analysis and experimental verification, the analog signal transmission system complex electromagnetic interference resistance is superior to the existing scheme, high transmission precision at the same time, continuous transmission error is less than 0.1%. It provides a good performance for the analog signal transmission in industrial high power microwave heating equipment under the complex environment.

**Keywords:** microwave heating; electromagnetic interference; analog signal; V/F conversion; optical fiber; FPGA

## 0 引言

近年来, 微波加热因具有效率高、绿色清洁、加热均匀等一系列优点, 在工业领域得到越来越广泛的应用<sup>[1]</sup>。工业大功率微波加热设备加热固体物质时极易产生热失控的问题<sup>[2-5]</sup>, 即被加热固体材料温度高的区域会比温度低的区域吸收更多的微波能量, 而固体物质之间的热交换效率很低, 导致被加热物体局部区域温度过高, 从而造成安全事故。解决这个问题需要实时、准确的监控温度、微波反射率传感器输出的信息, 并对微波源的输出功率进行实时调节。

对于复杂条件下模拟信号的传输问题, 国内外学者进行了很多研究工作<sup>[6-9]</sup>。大功率微波设备中存在着强烈的电磁干扰, 现有的模拟信号传输方案在复杂环境下传输误差大, 严重影响了微波加热设备的精确控制和安全运行。针对上述问题, 本文提出一种基于光纤, 并整合 V/F 转换器和 FPGA 组成的模拟信号传输解决方案, 有效的提高了复杂环境下工业大功率微波加热设备中模拟信号的传输精度和抗干扰能力。

## 1 系统结构及原理

针对上述信号传输方案存在的问题, 本文提出一种在复杂条件下工业大功率加热设备模拟信号传输系统, 能够有效提高

信号传输精度和抗干扰能力。整个系统包括 V/F 转换器、光纤驱动电路、FPGA 测量单元等部分。系统结构图如图 1 所示。

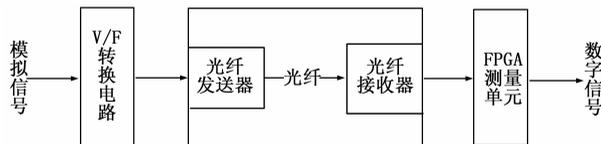


图 1 系统结构图

在工业大功率微波加热设备中, 温度传感器、微波反射率传感器输出的模拟信号, 通过 V/F 转换器转换为脉冲信号, 脉冲信号的频率和模拟信号的电压值成线性关系。脉冲信号驱动光纤发送器, 将电脉冲信号转换为光脉冲信号, 通过光纤进行传输, 在光纤接收端将光脉冲信号还原为电脉冲信号, FPGA 对脉冲信号的频率进行测量, 然后将测量数值发送给控制器。在本文采用的方法中, 光纤传输的信号为脉冲信号, 信号的传输依赖光信号的频率而对光信号的强度衰减并不敏感, 所以传输精度高, 而且光纤传输受电磁干扰影响小, 故在复杂电磁环境下抗干扰能力强。

本文的主要工作有: 提出将光纤应用于工业大功率微波加热设备中的模拟信号的传输; 采用 FPGA 等精度测频法对脉冲信号进行实时测量; 分析了光纤传输系统中误差的产生因素, 提出减小误差的方法。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 V/F 转换器

V/F 转换器将输入的模拟电压信号线性的转换为脉冲频

收稿日期: 2014-05-22; 修回日期: 2014-06-23;

基金项目: 国家“973 计划”资助项目(2013CB328903)。

作者简介: 孙浩杰(1988-), 男, 河南省平顶山市人, 硕士研究生, 主要从事嵌入式方向的研究。

率信号<sup>[10]</sup>，其函数关系为：

$$F_x = k * V_m$$

式中， $V_m$  为传感器输出的模拟信号电压值，单位伏特 (V)， $k$  为电压/频率转换系数， $F_x$  为输出的脉冲信号的频率，单位是赫兹 (Hz)。

V/F 转换芯片采用的是美国 NS 公司生产的 LM331，电路图如图 2 所示。

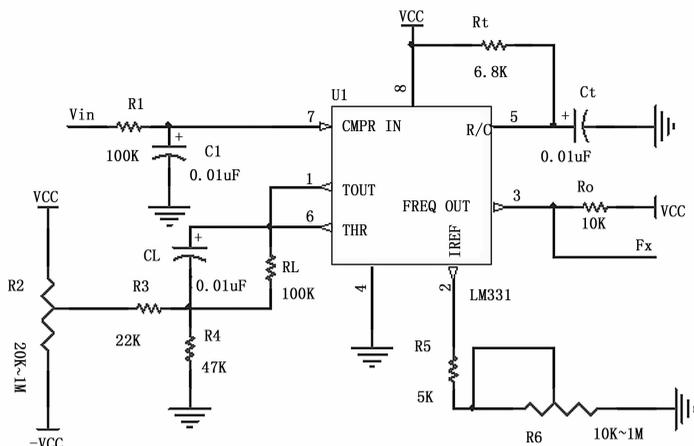


图 2 V/F 转换器电路

图 2LM331 应用电路的电压/频率转换系数  $k$  为：

$$k = R_5 / (2.09 * R_L * R_t * C_t)$$

式中， $R_5$  是由  $R_5$  和  $R_6$  共同组成的。

为了得到最佳测量效果，所有原件都应选用温度系数低、参数稳定的元器件。

### 2.2 光纤传输单元

采用 AVAGO 安捷伦生产的 HFBR-0400 系列光纤发送器和接收器。光纤发送器采用 HFBR-2422，光纤接收器采用 HFBR-1422，配套使用时，连接距离达到 4 km，最高通信速率可达 175 Mb/s<sup>[11-12]</sup>。

光纤发送器和接收器驱动电路如图 3 所示电路，

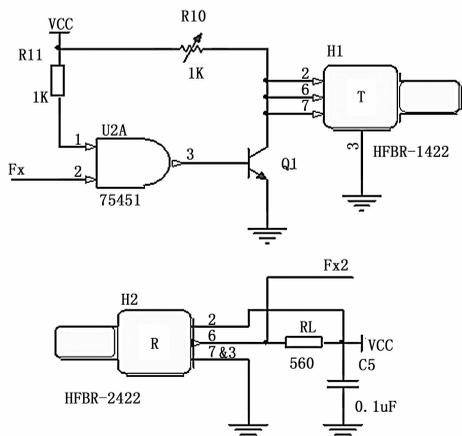


图 3 光纤发送器和接收器驱动电路

图 3 中，“ $F_x$ ” 是光纤发送器输入的脉冲信号，“ $F_{x2}$ ” 是光纤接收器输出的脉冲频率信号。75451 是大电流与门芯片，三极管 Q1 选用 9013，电阻  $R_{10}$  的值根据下式确定：

$$R_{10} = (V_{cc} - V_f) / I_f$$

式中， $R_{cc} = 5 V$ ， $V_f = 1.5 V$ ， $I_f$  根据通讯距离选择，其具体数值的确定可参考 HFBR-1422 的数据手册。

### 2.3 FPGA 等精度测频法

在现代控制系统硬件结构中，广泛采用 ARM+FPGA 的架构方式。FPGA 采用并行工作方式，时钟延时可达到纳秒级，使得 FPGA 在实时测控方面有着非常广阔的应用前景。

常用的频率测量方法有两种：测频法和测周期法：测频法是在一定的闸门时间  $t$  内测量被测信号的脉冲个数  $N$ ，然后通过公式  $f = N/t$  求出被测信号的频率。测周期法是先测量出被测信号的周期  $T$ ，然后根据公式  $f = 1/T$  求出被测信号的频率，测频法侧重于高频应用，测周期法侧重于低频应用。

这两种方法的计数值会产生  $\pm 1$  个周期的误差。基于此，我们采用精度更高的等精度测频法<sup>[13]</sup>。

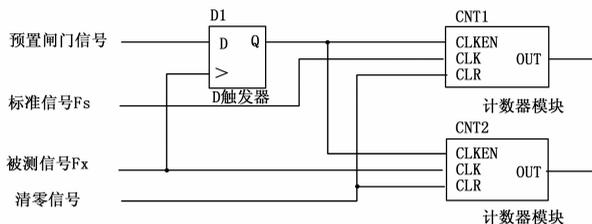


图 4 等精度测频法原理图

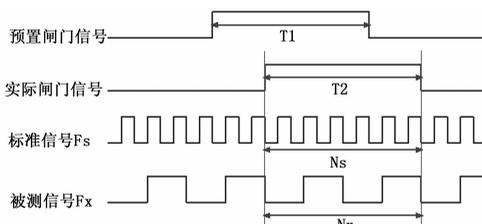


图 5 等精度测频法波形图

等精度测频法原理：两个计数器分别对标准频率信号  $F_s$  和被测频率信号  $F_x$  计数。首先，预置门控信号发出一个上升沿开启信号，此时计数器并未开始计数，而是等到被测信号上升沿到来时才开始计数，当预置门控信号发出一个下降沿结束信号时，计数器并未立即停止计数，而是等到被测信号的上升沿到来时才停止计数，从而完成一次测量过程。从图 3 可以看出，实际闸门信号和预置闸门信号并不完全相等，但是他们的差值不会超过被测信号的一个周期。设一个测量过程中计数器测得标准信号的计数值为  $N_s$ ，被测信号的计数值为  $N_x$ ，则被测信号的频率为：

$$F_x = F_s * N_x / N_s$$

## 3 实验测试及数据分析

### 3.1 实验装置

为模拟微波加热设备中可能产生的微波泄漏辐射，我们采用 1 kW 微波源对光纤传输系统直接进行照射，测量微波辐射值，保证系统所受的最大辐射值小于国家规定的最高安全值 5 mW/cm<sup>2</sup>。同时，我们对光纤模拟信号传输系统进行试验和分析。