



# 基于 MSP430 的移频信号测试系统的实现

赵振杰 孔令富 段学习  
(燕山大学 秦皇岛 066004)

**摘要:** 随着我国电气化铁路的不断普及,移频信号的准确、实时检测对于列车的安全行驶起着至关重要的作用。本文通过分析移频信号的特性,针对铁路运行强干扰性的环境,利用脉冲计数式鉴频和滤波原理设计了一个基于 MSP430 的移频信号测试系统,实现了移频信号载波信号频率、低频调制信号频率和电压三项参数的测定。通过实际测量,该系统基本满足实际需求,并且其体积小、成本低、操作方便、性能稳定,测量精度高,抗干扰性强,具有广阔的应用前景。

**关键词:** 移频信号; MSP430; 脉冲计数式鉴频

**中图分类号:** U284.237 **文献标识码:** A

## Realization of frequency-shift keying signal testing system based on MSP430

Zhao Zhenjie Kong Lingfu Duan Xuexi  
(Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

**Abstract:** With the widespread use of the electrified railway, real-time detection of security on the train plays a vital role. The article analyzes the property of FSK signal and the intense interference surroundings of railway operation. Based on the principle of the pulse-counter frequency discrimination and filter, a testing system which is used to test the FSK signal is designed by making using of MSP430. The testing system can measure carrier signal, low frequency modulation signal and voltage of FSK signal. Through measuring, the system can satisfy the practical request. Moreover, it is small, cheap, convenient, stable, accurate, and has strong anti-jamming performance. On the same time, it has broad application prospect.

**Keywords:** FSK signal; MSP430; pulse-counter frequency discrimination

## 0 引言

近几年随着我国铁路不断提速和高速铁路的陆续兴建,列车实现了高速、重载、大密度的开行,而地面轨道电路和移频信号的稳定、可靠运行是保证列车安全行驶的关键,为此需要对移频信号进行实时、动态地检测。为及时发现故障源并及时排除故障,就需要运行稳定、测量精度高、抗干扰能力强的高性能测试设备对移频信号进行实时的检测。因此,开发便携式、成本低的移频信号测试设备对国内轨道电路的检测具有重要意义。

我国铁路系统中应用数量最多、范围最广的轨道电路是移频轨道电路,主要分为两种,一种为国产制式;另一种为法国制式。这两种制式的移频轨道电路上传输的机车信号为相位连续的移频键控信号 FSK (Frequency-shift Keying) 简称移频信号<sup>[1]</sup>,所以对于移频信号的测试关键在于低频调制信号的解调,目前对移频信号的解调主要有以

下几种方法:一是欠采样技术结合快速傅里叶变换<sup>[2]</sup>;二是锁相环解调<sup>[3]</sup>;三是小波变换结合快速傅里叶变换<sup>[4]</sup>;四是时域检测法中的测宽法<sup>[5]</sup>。

本系统利用脉冲计数式鉴频原理解调低频调制信号,利用超低功耗单片机 MSP430 实现对信号参数的计算和显示,实现国产移频轨道电路和 UM71、WG-21A、ZPW-2000 无绝缘轨道电路移频信号载波信号频率、低频调制信号频率和电压的测量。

## 1 移频信号简介

目前中国投入运营的移频轨道电路主要有:国产 4 信息、8 信息、18 信息移频轨道电路和 UM71、WG-21A、ZPW-2000 无绝缘轨道电路。

国产移频轨道电路的移频信号,上行线采用的中心频率为 650 Hz、850 Hz,下行线采用的中心频率为 550 Hz、750 Hz。频偏为  $\pm 55$  Hz,4 信息移频轨道电路采用的低频调制信号为 11 Hz、15 Hz、20 Hz、26 Hz;8 信息采用 8 Hz、

9.5 Hz、11 Hz、13.5 Hz、15 Hz、16.5 Hz(17.5 Hz)、20 Hz、26 Hz; 18 信息采用 7 Hz、8 Hz、8.5 Hz、9 Hz、9.5 Hz、11 Hz、12.5 Hz、13.5 Hz、15 Hz、16.5 Hz、17.5 Hz、18.5 Hz、20 Hz、21.5 Hz、22.5 Hz、23.5 Hz、24.5 Hz、26 Hz<sup>[6]</sup>。

UM71、WG-21A、ZPW-2000 无绝缘轨道电路移频信号,上行线采用的中心频率是 2000 Hz、2600 Hz,下行线采用的中心频率是 1700 Hz、2300 Hz,频偏为±11 Hz,低频调制频率从 10.3 Hz 起,按 1.1 Hz 等差级数递增至 29 Hz,共 18 种。

## 2 硬件系统的实现

该系统选择的主控芯片是低电压、超低功耗 16 位单片机 MSP430F147<sup>[7]</sup>,该单片机具有丰富的片内资源,完全满足本系统需要。该系统主要包括测载波频率模块、测低频调制信号模块、测移频信号电压模块,整体硬件构成框架图如图 1 所示。

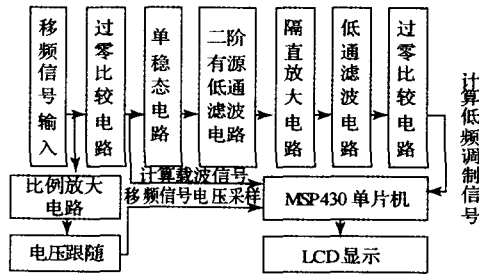


图 1 整体硬件构成框架图

### 2.1 载频信号频率的测定

因移频信号中心频率主要为 550 Hz、650 Hz、750 Hz、850 Hz 和 1700 Hz、2000 Hz、2300 Hz、2600 Hz。频率值间隔较大,并且移频信号的频偏分别为 55 Hz 和 11 Hz,远小于相邻载波信号频率的差值,因此只需对移频信号作过零比较,就可得到与载波信号同频率的脉冲信号,然后送单片机计数单元,利用单片机测频率法,即可得载波信号的瞬时频率值。

### 2.2 低频调制信号频率的测定

低频调制信号是利用脉冲计数式鉴频原理测定的,具体来说是将移频信号通过过零比较器电路,使它变为调制脉冲序列。然后通过单稳态电路对脉冲序列进行整形,由于该脉冲序列含有反映调制信号瞬时频率变化的平均分量,因此通过二阶有源低通滤波器<sup>[8]</sup>后便可得到反映平均分量变化的解调电压,即原低频调制信号。

由于解调出来的低频调制信号带有比较大的直流分量,且幅度较小,需经隔直放大器电路进行隔直后再进行放大,否则在放大过程中出现信号削顶现象。放大后的信号有一定的毛刺并且铁路现场有牵引电流 50 Hz 工频及其谐波等干扰信号,所以需经过一级低通滤波后,再经过

零比较器,就可得到与低频调制信号同频率的脉冲波形,送单片机计数单元,利用单片机测周期法,便可得到低频调制信号的频率值。

### 2.3 移频信号电压的测定

移频信号电压测量是利用 MSP430F147 片内 ADC12 对移频信号进行波峰采样计算得到的,由于 MSP430F147 片内 ADC12 内部参考电压为 2.5 V,信号首先经过比例放大电路得到符合 ADC12 要求的电压信号幅度,然后经过电压跟随进入 ADC12 进行采样计算。

## 3 软件系统的实现

本系统采用 C 语言,C 语言具有强大的程序处理能力和灵活性,便于模块化开发和系统移植。根据系统的硬件构成,设计的系统软件流程图如图 2 所示。

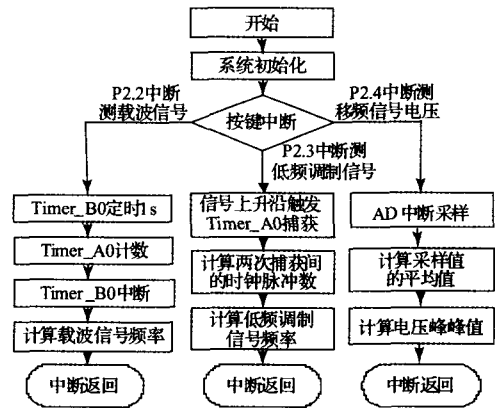


图 2 系统软件流程图

## 4 测试数据

国产 18 信息移频轨道电路移频信号测试数据是利用实验室移频信号源测试得到的,UM71 无绝缘轨道电路移频信号测试数据是在铁路现场测试得到的,具体数据如下所示。

1) 国产 18 信息移频轨道电路载波频率测试数据如表 1 所示。

表 1 国产 18 信息移频轨道电路载波频率测试数据

线路方向	实际测量频率/Hz	实际频率/Hz
上行线	849	850
	853	850
	855	850
下行线	549	550
	551	550
	552	550

2) 国产 18 信息移频轨道电路低频调制信号频率测试数据如表 2 所示。

表2 国产18信息移频轨道电路低频调制  
信号频率测试数据

线路方向	实际测量频率/Hz	实际频率/Hz
上行线	7.02	7
	8.99	9
	17.54	17.5
	23.47	23.5
	26.04	26

3) UM71 无绝缘轨道电路载波信号频率测试数据如表3所示。

表3 UM71 无绝缘轨道电路载波信号频率测试数据

线路方向	实际测量频率/Hz	实际频率/Hz
上行线	1699	1700
	1700	1700
	1701	1700
下行线	1999	2000
	2001	2000
	2000	2000

4) UM71 无绝缘轨道电路低频调制信号频率测试数据如表4所示。

表4 UM71 无绝缘轨道电路低频调制信号频率测试结果

线路方向	实际测量频率/Hz	实际频率/Hz
上行线	16.89	16.9
	15.79	15.8
	14.68	14.7
	13.59	13.6
	12.51	12.5

5) UM71 无绝缘轨道电路移频信号电压测试数据如表5所示。

表5 UM71 无绝缘轨道电路移频信号电压测试数据

信号源电压峰峰值/V	测量电压峰峰值/V
5.000	4.994
	4.989
	4.999

从以上数据可以看出,移频信号载波信号频率、低频调制信号频率以及电压的测量精度,基本满足实际需求。

## 5 结 论

轨道电路移频信号具有非线性特点,本文针对性地利用了脉冲计数式鉴频原理对低频调制信号进行解调,从测量数据可以看出,基本满足实际需求,并且该系统体积小、成本低、性能稳定,测量精度高,抗干扰性强,便于铁路电务部门工作人员的常规测试,具有广阔的应用前景。

## 参 考 文 献

- [1] 陈永刚. 谐振式无绝缘移频轨道电路解调信号参数研究[J]. 兰州交通大学学报, 2004, 23(6): 116-119.
- [2] 赵军民, 杨平. 基于 DSP 的移频信号高分辨率检测方法[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(5): 4-5.
- [3] 刘杰, 姜德谭, 姜华, 等. 移频轨道电路参数测试仪的研制[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2003, 8(2): 32-35.
- [4] 孙刚, 魏学业, 程荫杭. 基于小波变换的铁路移频信号分析[J]. 铁道学报, 2000, 22(2): 43-45.
- [5] 赵站克, 熊红云, 鲁五一. 单片机在移频信号频率检测中的应用[J]. 微计算机信息, 2004, 20(2): 79-80.
- [6] 耿浩利. 基于 DSP 的移频轨道电路参数在线检测方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [7] 张成刚, 孔令富. 基于 MSP430 的轨道电路在线测试仪设计与实现[J]. 电子技术应用, 2007, 33(9): 91-92.
- [8] 朱学明, 王化祥. 低通滤波器对电容成像系统实时性影响研究[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(6): 120-123.

## 作 者 简 介

赵振杰, 男, 1983年7月出生, 工学硕士, 主要研究方向为嵌入式系统。

E-mail: jie581@163.com

孔令富, 男, 1957年1月出生, 工学博士, 教授, 博导, 主要研究方向为机器人视觉、嵌入式系统、足球机器人、网络。