

# 交流转辙机动作电流有效值的测量方法与设计实现

张国军

通号(西安)轨道交通工业集团有限公司北京分公司 北京 100071

**摘要:** 交流转辙机作为铁路信号系统中的关键设备,其动作电流的有效值测量对于设备的运行状态监测和故障诊断具有重要意义。本文首先介绍了交流转辙机的工作原理及其动作电流的特点,随后详细阐述了交流电流有效值的计算方法。在此基础上,本文设计了一套基于微控制器的交流转辙机动作电流有效值测量系统,并在实验室和现场通过实验验证了该系统的准确性和可靠性。

**关键词:** 交流转辙机; 交流有效值; 过零点; 数字采样; 峰值检测

## 引言

交流转辙机具有动作快、零部件少、价格低廉、安装调试简便、容易维修以及良好适应各型号道岔等特点,满足高铁和地铁高强度、高密度转换需求,近几年在国内广泛采用,已成为国内主流转辙机<sup>[1]</sup>。其动作电流的有效值直接反映了转辙机的运行状态和负载情况,因此,准确测量其动作电流的有效值,可以实时反应转辙机的工作状态,帮助铁路工作人员随时了解铁路道岔工作情况,发生故障时可以及时处理故障信息,对铁路系统安全运营提供重要保障,对铁路运输安全具有重要意义。

### 1 交流转辙机及其动作电流特性

交流转辙机通常由交流电动机驱动,采用三相五线制交流380V的电机,其动作电流具有周期性变化的特点,动作电流的有效值与转辙机的负载和运行状态密切相关。可通过监测动作电流,根据动作电流持续时间判断故障范围。

为了准确反映交流转辙机的工作情况,精确记录动作电流有效值变化情况,测量范围需满足以下条件:

- 电流测量量程: AC 0-10A
- 电流测量精度: 2% F.S.

### 2 交流电流有效值的测量方法

交流电流有效值又称“方均根值”,交流电通过某电阻,在一周期内所产生的热量与直流电通过该电阻在同样时间内产生的热量相等,此直流电的量值则是该交流电的有效值。周期电流 $i(t)$ 的有效值就是其方均根值<sup>[2]</sup>。基于模拟算法的电流有效值 $I$ 定义如下:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (1)$$

式中:  $T$  —— 周期;

$i(t)$  ——  $t$ 时刻电流瞬时值。

交流电流有效值常见的测量方法包括:真有效值法、FFT变化法、整流平均法、峰值检测法,下面分别对

这4种方法进行简要介绍:

真有效值法是一种测量交流电流有效值的精确方法,它通过计算信号的平方、平均和平方根来得到信号的真实有效值。这种方法适用于任何波形的交流信号,包括正弦波、方波、三角波以及包含谐波的复杂波形,且不受信号波形失真或谐波的影响。其缺点是计算复杂度较高,需要更多的计算资源和时间。

FFT变换法的基本原理是将一个时域信号转换为频域信号,从而可以分析信号中包含的不同频率成分的幅度和相位。对于交流电流信号,FFT可以揭示信号中各个频率分量的有效值,包括基波和所有谐波分量;但需要对信号进行足够密集的采样,计算复杂度较高,尤其是在实时系统中。

整流平均法是一种测量交流电流有效值的简单方法,它通过测量信号的绝对值(即整流值)的平均值来近似估计有效值。整流平均法的优点是简单、成本低,适用于对精度要求不高的场合。同时它的缺点也很明显,检测精度有限,不适用于非正弦波形,且受谐波影响较大。

峰值检测法是一种用于测量交流电流峰值的方法,它通过直接测量信号的最大值(正峰值)或最小值(负峰值)来获取信号的峰值信息。对于正弦波形,有效值等于峰值除以 $\sqrt{2}$ <sup>[3]</sup>。峰值检测法的优点是简单、快速,可以实时监测信号的峰值变化。非常适用于正弦波形的实时监测信号系统。

### 3 系统设计与实现

根据交流转辙机电流测量要求,本文设计了一套基于国产芯片GD32F450VGT6微控制器的交流转辙机动作电流有效值测量系统。系统主要包括电流采样电路、低通滤波电路、模数转换器、微控制器和通信模块。电流采样电路负责将动作电流转换为电压信号,低通滤波电路负责滤除工频量谐波干扰和噪声,模数转换模块将电压信号转换为数字信号,数字测量模块对数字信号进行

处理并计算出电流的有效值，最后通过通信模块传递到上位机监测系统显示测量结果。

### 3.1 电流采样电路模块

由于交流转辙机动作电流量程较大，且测量设备需安装在现有的交流转辙机的电路中，但又不能影响电路的正常运行，因此采用电磁式电流互感器法采集电流信息是一种理想的方法。电磁式电流互感器（CT）是一种常见的电流测量设备，它通过电磁感应原理将高电流转换为低电流。通过测量次级线圈中的电流，可以得到原边电流的有效值。根据交流转辙机动作电流特点，互感器选型参数如下：

额定电流：AC10A；精度：0.2级或更高；频率：50Hz；

采样电路原理图如下所示：

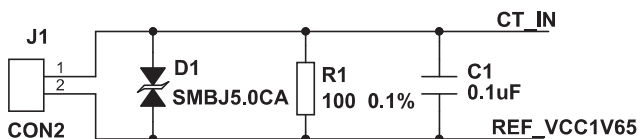


图1 电流采样电路原理图

图中：连接器J1连接交流互感器输入信号，D1为TVS二极管用于在电路中提供瞬态电压保护。R1为100欧姆的精密电阻，用于交流互感器电流采样，将电流信号转换为电压信号，REF\_VCC1V65为1.65V偏执电压，从而使交流输入信号整体上移1.65V，信号范围从[-1.65V，+1.65V]调整至[0~3.3V]，以供后续滤波电路处理。

### 3.2 低通滤波电路模块

为了有效滤除工频量谐波干扰和噪声，本设计采用标准的二阶有源巴特沃斯滤波器，巴特沃斯滤波器具有通带响应平坦，在通带内的增益变化最小，直到截止频率后才开始迅速衰减的特点；二阶滤波器意味着它有两个极点，比一阶滤波器具有更陡峭的衰减特性。

滤波电路原理图如下所示：

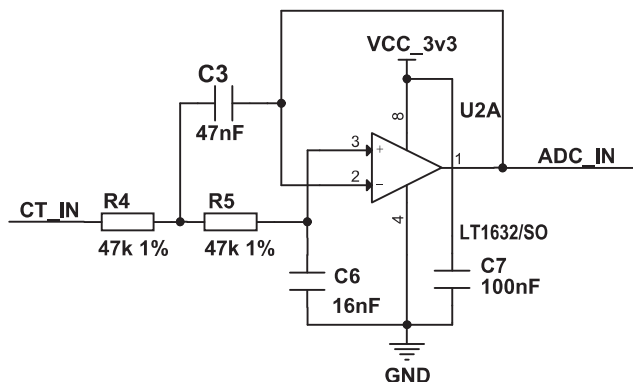


图2 低通滤波电路原理图

图中：截止频率： $f_c = 100\text{Hz}$ ，增益： $A = 1$ ，电阻和电容值：根据截止频率和增益来选择匹配，以确保滤波

器满足巴特沃斯响应的要求。电流采样信号经过低通滤波器后有效滤除工频量谐波干扰和噪声，再直接进入模数转换器，进行数字采样，转换为数字信号。

### 3.3 模数转换模块

本设计模数转换模块采用微控制器GD32F450VGT6内嵌的ADC，该ADC是一种采用逐次逼近方式的模拟数字转换器，通过使用二分搜索法来找到与输入信号最佳匹配的一系列值。根据本设计中转辙机动作电流频率为50Hz的工频电流的特点，设定ADC的采样率为12.8KSPs，连续转换模式，每周期采样点为256个点，以供微控制器进行计算处理。

### 3.4 数字测量模块

数字测量模块主要以GD32F450VGT6微控制器为处理单元，GD32F450VGT6是一款基于ARM@Cortex-M4 RISC内核的32位通用微控制器，工作频率高达180MHz，提供高效的运算能力，适用于需要高精度计算的应用。

交流转辙机的现场实际工作环境中，因电力系统的复杂性和负载的多样性等各种因素的影响，会导致工频电流的周期性不稳定，因此本设计通过低通滤波电路先滤除谐波分量和噪声，确保信号纯净，再通过AD转换值，采用满周期数据点，结合零点波动处理算法，自动校准零点算法，峰值检测算法，最终可通过半个周期内数据采样获得交流电流有效值。其软件流程图如下所示：

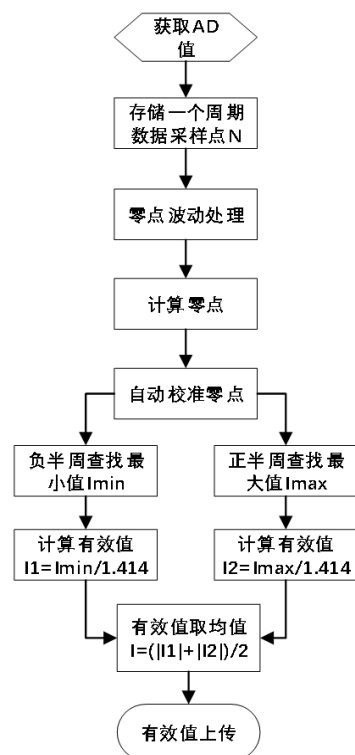


图3 数字测量流程图

图中：零点波动算法：每周期采样点数N，分别记录正半周和负半周采样点的个数M1和M2，当 $M1 \ll N/2$ 且 $M2 \ll N/2$ 且每个采样点均在零点附件时，判断此时无信号输入，进行滤波处理，输出0值。

自动调零算法：根据每个周期采用点数N，计算出当前周期数据的零点值Z1，与先前零点值Z0进行比较，当 $Z1 \neq Z0$ 时，进行微调，使Z1和Z0相等，自动调整零点值，可起到自动校准作用。

峰值检测算法：采用峰值检测法，分别检测正半周峰值和负半周峰值，可以在半个周期内就计算出输入信号的有效值，信号检测灵敏度高，算法简单，反应迅速。

结合零点波动算法、自动调零算法和峰值检测算法，可迅速准确测量出信号有效值，使测量系统的实时性和正确性更高。

### 3.5 通信模块

本设计中的通信模块采用以太网通信接口，实现采集卡与上位机之间的转辙机动作电流信息传递。

与上位机之间的通信协议分为周期数据帧和实时数据帧，两种帧格式，其中周期数据帧以10秒钟为周期，定期向上位机传输交流输转辙机电流有效值；当交流转辙机进行操岔动作时，动作电流达到设定的阈值后，触发实时数据帧传输模式，实时传输电流有效值信息，直到转辙机本次操岔完成或传输超时停止。

### 4 实验验证

本设计产品在实验室内，搭建测试环境，分别对0~10A之间12个不同电流值进行测试，每个档级采集100个点，分别记录实际测量值、最小值、最大值、均值以及修正值，计算测量精度，通过测试可看出本次设计符合设计要求，测量精度远小于2%F.S。测试记录表见下表：

表1 实验室内信号测试记录表

编号	实际测量 电流值(A)	100个采样点采集值采集电流 (A)				测量精度 < 2% F.S
		最小值	最大值	均值	修正值	
1	0	0.02	0.04	0.035	0	0.00%
2	0.86	0.7	0.9	0.87	0.835	0.25%
3	1.72	1.66	1.87	1.71	1.675	0.45%
4	2.58	2.28	2.88	2.61	2.575	0.05%
5	3.44	3.02	3.63	3.44	3.405	0.35%
6	4.31	4.02	4.63	4.36	4.325	0.15%
7	5.17	4.78	5.99	5.16	5.125	0.45%
8	6.04	5.51	6.53	6.04	6.005	0.35%
9	6.91	6.43	7.9	6.94	6.905	0.05%
10	7.77	6.85	8.36	7.83	7.795	0.25%

续表：

编号	实际测量 电流值(A)	100个采样点采集值采集电流 (A)				测量精度 < 2% F.S
		最小值	最大值	均值	修正值	
11	8.64	8.15	9.3	8.68	8.645	0.05%
12	9.48	8.6	10.09	9.51	9.475	0.05%

同时本设计产品在交流转辙机工程项目中，也进行了实际测试验证，转辙机动作电流最大值小于10A，设计量程满足实际应用场境。转辙机操岔过程动作电流如图4所示：

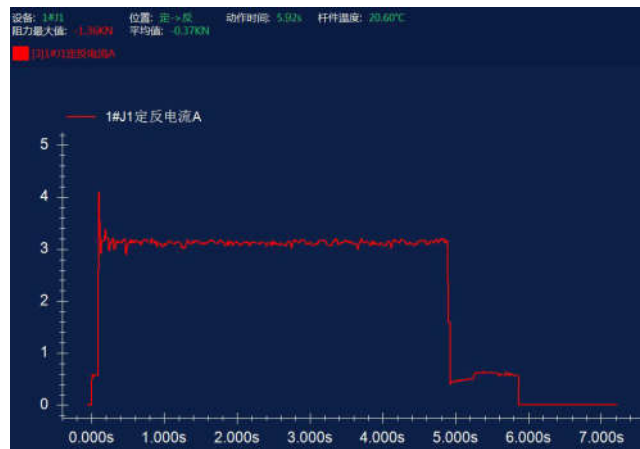


图4 转辙机操岔动作电流图

通过实验室和在实际的交流转辙机上进行实验，验证了本设计的测量系统的准确性和可靠性。实验结果表明，该系统能够准确测量动作电流的有效值，并且具有良好的稳定性和抗干扰能力。

### 结论

本文设计的交流转辙机动作电流有效值测量系统具有较高的测量精度和良好的实用性。因此具有良好的工程推广应用前景。目前该技术已经应用于交流转辙机综合监测实际项目，使得交流信号真有效值的测量精度较之前有了很大的提高，稳定性也得到了明显改善，同时大大提高了铁路运维部门的工作效率，带来较好的社会效益。

### 参考文献

- [1]谢玉双.ZDJ9转辙机故障智能诊断系统的研究[D].中国铁道科学研究院.2020.07.01.
- [2]王昊,徐和平,孙咏梅,班福厚,禹成七.常见工频电参数的数值算法研究[J].山西电力2006年4月第2期:8-11
- [3]何涛,高帅,张锐.论工频电压的峰值测量[J].云南电力技术.2001年增刊第29卷:71-73