

一种高精度转速变送器的研制

冯宪俊^{1,2}, 巢乐²

(1. 上海交通大学微电子学院, 上海 200240;

2. 上海自动化仪表股份有限公司, 上海 200072)

摘要: 基于工业现场信号的传输与处理的仪器仪表叫做变送器。本设计是基于电站汽轮机现场的汽轮机转速信号为测量基础的智能型变送器, 区别于传统型的变送器, 本设计包含有显示、按键、继电器输出报警和多种电源配置, 在通讯方面不仅保留传统 4-20mA 总线并且具有 RS485 总线实现上位机对工业现场转速的精确测量, 本文对该设计进行了详细的论证。

关键词: 变送器; 汽轮机转速; 高精度

中图分类号: TH86

Development of a high precision rotational speed transmitter

FENG Xianjun^{1,2}, CHAO Le²

(1. School of Microelectronics, Shanghai JIAO TONG University, Shanghai 200240;

2. SHANGHAI AUTOMATION INSTRUMENTATION CO.LTD, Shanghai 200072)

Abstract: Industry scene signal transmission and processing of the instrument called the transmitter based on. This design is the signal of turbine speed power plant turbine based on site for measurement based intelligent transmitter, the transmitter is different from the traditional type, the design includes display, button, relay output alarm and various power allocation, in terms of communication not only to retain the traditional 4-20mA bus and has accurate measurement of upper computer of RS485 bus industrial site speed in this paper, detail of the design

Key words: Transmitter; The rotational speed of the turbine; high precision

0 引言

转速变送器是一种安装于控制室的新颖智能转速信号变送类仪表, 属于非接触测量、一体化结构。它将现场采集的交变转速信号, 转换为 4-20mA 标准工业信号进行传输; 同时能实时显示当前转速数值, 便于控制室监测; 通过设置报警点转速, 能实现电超速 (OPC) 和机械超速 (AST) 报警显示, 并通过继电器干接点输出报警状态; 本机通过 RS485 总线接口与上位机通信。

1 转速变送器的总体设计

电站工业汽轮机现场的汽轮机转速是一个非常重要的信号, 该信号标示了汽轮机的转动速度^[1]。按照本设计用户上海汽轮机厂所提供的指标所示本设计总体功能指标如下:

1) 系统可以接受高灵敏度交变正弦波输入信号, 信号的幅值 250mV 左右, 有 1 路信号输入, 进行滤波整形后, 进入信号调制电路。

2) 输入信号的频率范围 0~10KHz

3) 基本误差为 $\pm(0.1\%FS+1Hz)$ 或 $\pm(0.1\%FS+1r.p.m)$

4) 脉冲量 PO 输出功能

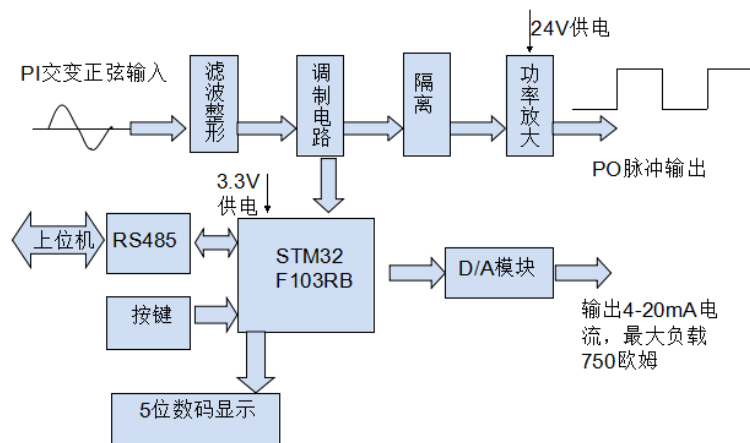
5) 系统经过对输入信号的整理调制后, 产生 1 路方波信号输出

6) 输出脉冲的幅值: 不小于 20V

作者简介: 冯宪俊 (1984-), 男, 工程师, 主要研究方向: 仪器仪表及工业自动化. E-mail: leonfun_1984@hotmail.com

7) 输出 1 路 4mA~20mA 电流信号

根据以上功能设计要求对该高精度转速变送器的总体框图如下所示:



45

图 1 功能框图

Fig.1 Functional block diagram

由图所知，转速信号通过与现场隔离的高速光电耦合器进入由运算放大器构成的滤波、整形、放大环节^[2]。信号处理的 CPU 方面选取意法半导体出品的基于 ARM CORTEX 架构的
 50 的微处理器 STM32F103RB，该芯片是最高 72MHz 工作频率的 32 位微处理器，128K 闪存存储器，16K 字节 SRAM，2.0-3.6V 供电和 I/O 引脚，内嵌 8MHz 的 RC 振荡器，三种低功耗模式包括睡眠、停机和待机模式，在模数方面具有 2 个 12 位模数转换器，1us 转换时间
 55 转换范围从 0 至 3.6V。在系统供电方面，选取金升阳公司的 DC/DC 模块 WRF2405S-1WR2，该模块具有宽输入电压范围（18V-36V），隔离电压 3000VDC，短路保护，输出可关断等功能，适合汽轮机现场实现电源隔离与 EMC 的要求。数模输出方面采用高速磁藕进行 CPU
 与 4-20mA 输出的隔离。

2 硬件设计

2.1 信号处理单元

60 根据上文所述对于现场汽轮机的转速信号的处理，要求有隔离、实时性、高精度等特点，因此硬件设计包含有滤波、整形和所得信号 CPU 可测量^[3]。实现电路如图 2 所示：

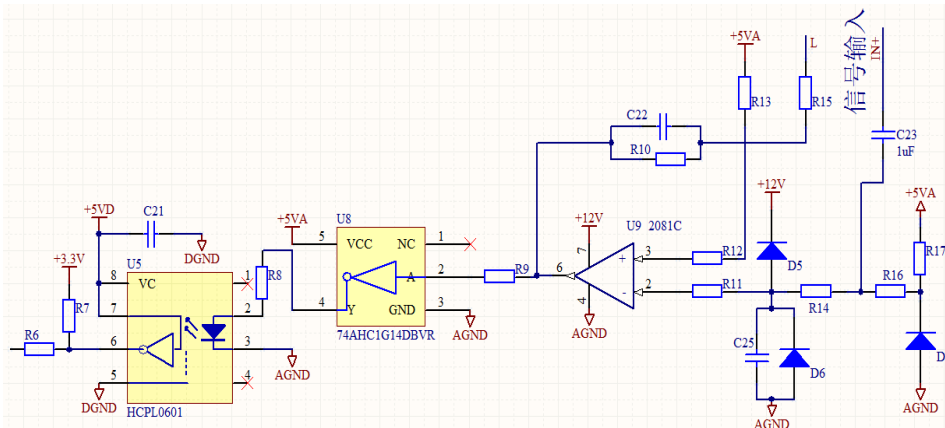


图 2 转速信号处理电路

Fig.2 The rotational speed signal processing circuit

65 如上图, IN+表示转速信号的输入正端, AGND 代表现场的地线根据用户的设计任务指标, 转速信号的频率在 0-10KHz 之间, 根据此设计 RC 低通滤波器抑制现场高频噪声干扰^[4]。

根据公式 $f = \frac{1}{2\pi RC}$, 将截止频率 $f = 10KHz$ 代入可得, 取 C_{23} 为 1uF, R_{16} 为 22K, R_{17} 为

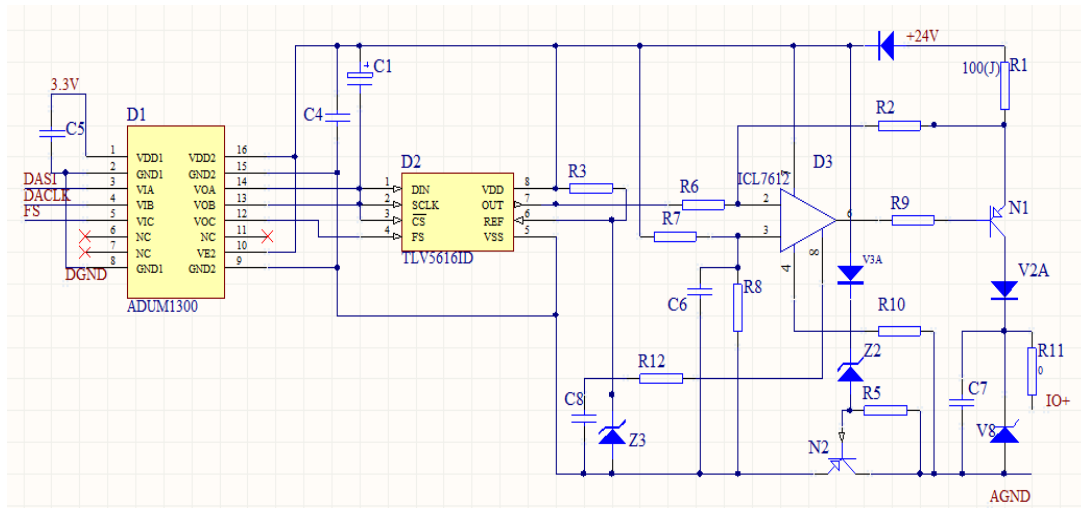
24.7K。使用德州仪器出品运算放大器 TLE2081C 构成滞回比较器用来将正弦信号转换为脉冲信号^[5], 该芯片具有轨到轨输出能力、驱动输出最大电流 80mA、转换时间 0.25uS, 由于
70 汽轮机转速信号的幅度最大可到 40V (根据上海汽轮机厂提供数据), 所以在运放输入端加入限幅二极管如图 2 中的 D5, 将输入信号的峰值固定在运放供电的 12V, 从而方便后端处理该信号。隔离方面选取高速光耦 HCPL0601, 该芯片具有 GaAsP 发光二极管和高增益光检测器的光学耦合逻辑门器件, 使能输入允许检测器可以被选通。检测器芯片输出为集电极开路肖特基箝位晶体管, 内置屏蔽可以保证 5,000V/μs 的高共模抑制(CMR)能力, 满足设计
75 高速、隔离现场的要求。

2.2 数模转换单元

现场仪表的信号即转速在科学计算之后必须通过总线通讯传递至控制室, 本设计中的 4-20mA 总线形式, 采用工业现场标准, 方便信号长距离传输。根据图 3 所示, 本设计在 4-20mA 现场信号与仪表之间采取磁耦隔离, ADUM1300, 该芯片的速度可达 10Mbps, CPU
80 通过 SPI 总线经过磁耦控制数模转换器 TLV5616, 通过 PWM 方式将电压加载在运算放大器 ICL7612 的输入端通过 100 欧姆的精密电阻实现压流转换, 数模转换输入电压在 0.4V-2V 之

间受控, 输出电流 $I_{O+} = \frac{V_{in}}{R_{77}}$, 由 $V_{in} \in (0.4, 2)$ 单位 V, $R_{77} = 100$ 可得: $I_{O+} \in (4, 20)$ 单位

mA, 实现数模输出。



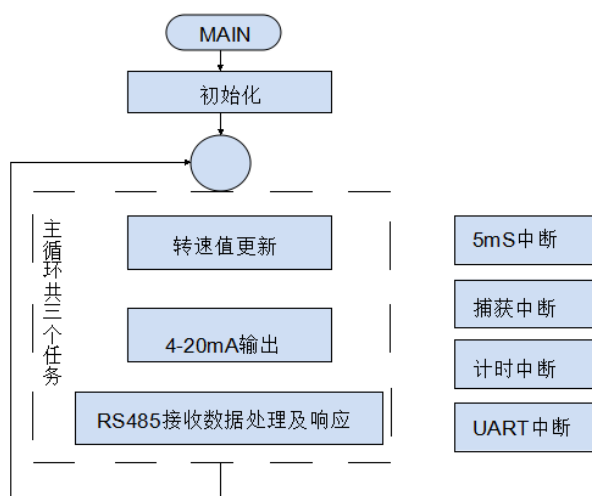
85 图 3 数模转换电路
Fig.3 Digital to analog conversion circuit

2.3 电源模块

任何仪表都需要电源供给, 优秀的电源设计可以减少仪器仪表的干扰增加产品的性能。本设计采用金升阳 DC/DC 模块, WRF2424 和 WRF2405, 该系列产品是专门针对布板空间
90 狭小, 且输入电压变化范围大、输入输出必须隔离的电源电路应用场合而设计, 工作温度范围: -40°C ~ +85°C, 隔离电压 3000VDC 具有短路保护功能 (自恢复) 并且输出可关断。

3 软件设计

3.1 软件总体设计



95

图4 软件框图
Fig.4 Block diagram of software

软件总体设计如图4所示，包括系统初始化、主循环程序、转速更新和通讯模块等组成。

3.2 测速原理

100

基于系统所测量的脉冲频率范围为0~10KHz，精度要求为 $\leq 1\text{Hz}$ （低于3000Hz时）。为了保证精度要求，确定了定时器的计数频率为72M，即计数器加1需要 $1/72000000\text{ (s)} = 0.0139\mu\text{s}$ 。在这种情况下对定时器的位数有较高的要求，而STM32F103VB内部的3个定时器都是16位定时器，在采样时间内会多次溢出^[6]。因此采用硬件方式，即将其内部的两个16定时器配置成一主一从的模式，形成32位的计数器，这样便可以不用考虑计数器的溢出问题，读取主从两个定时器的计数值，软件组合成32位的值即可，提高了可靠性以及实时性。

105

首先配置外部计数器TC74HC592预置信号个数N，当第一个信号PT0到达计数器时，PT0同时被CPU的PA1对应定期器捕获功能捕获，记录定时器计数值t0，当计数器计数到预置值时，溢出信号也通过PT0到达CPU的PA1对应定时器的捕获功能，记录下定时器计数值t1，则预置信号之间的时间 $T=t1-t0$ ，则频率为 $f=N/T$ 。V=f*60/sys。

110

时序图如下：

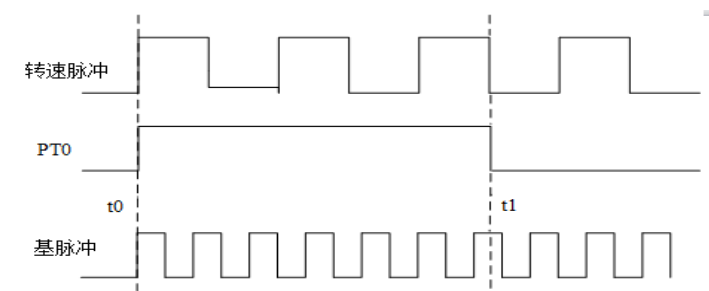


图5 采样时序
Fig.5 Sampling sequence

115 3.3 软件实现方法

由设计中的外部计数器 TC74HC592 预置计数 1 个，通过捕获输入信号的上升沿，记录一个脉冲周期内记录的 cpu 晶振脉冲数，根据此脉冲数判断转速频率大概在哪个区间，从而设定计算频率时的计数个数，然后转入计算频率状态^{[7][8]}。在频率区间判断的时候同时设置数字电位计。其中，频率高于 30kHz 的信号视为干扰。信号与干扰之间的关系如表 1 所示

120

表 1 输入信号与干扰信号
Tab.1 The input signal and the interference signal

输入信号频率 (Hz)	计数	个数
大于 30khz	干扰	干扰
10khz - 30kHz	128	7200 -1440
6000 - 10000	32	12000 -7200
2000 - 6000	16	36000 -12000
1000 - 2000	8	72000 -36000
800 - 1000	4	90000 -72000
400 - 799	2	180000 - 90000
400 以下	1	-180000

4 试验与论证

125 根据上海自动化仪表股份有限公司定制的企业标准《SZBS-100A 转速变送器 Q/YXBM937—2010》，对该设计进行了功能与性能各项实验，转轮选取 60 齿标准。其功能试验数据如表 2 所示

表 2 测速实验结果
Tab.2 The rotationa speed test results

标准信号（频率）	测量信号（转速）	误差
1Hz	1r/min	0
10Hz	10r/min	0
100Hz	100r/min	0
1KHz	999r/min	1‰
10KHz	9995r/min	0.5‰

130 在电磁干扰（EMC）实验上，根据国家标准 GB/T17626.2-2006 静电放电抗扰度试验和 GB/T17626.4-2008 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，均达到 2 级标准。量化了在工业现场的抗干扰能力。

5 结论

135 本文给出了一种针对工业汽轮机现场转速信号的变送器设计与论证，通过对转速信号的处理，创新的加入了高效的测速原理，使软件处理的精度更高，能够更精确测量汽轮机现场的转速。并且在设计的基础上可以叠加 4-20mA 与 RS485 通讯总线。

[参考文献] (References)

140 [1] 凌志浩,吴勤勤.智能仪表原理与设计技术[M].上海:华东理工大学出版社,2003.
 [2] 吴勤勤. 智能仪表原理、设计及调试. 华东理工大学出版社. 1999
 [3] 林月芳.智能仪器及其发展趋势[J].仪表技术,2003,(1):37-39.
 [4] 付家才.EDA 原理与应用[M].北京.化学工业出版社.2006.
 [5] 陈晓竹,陈乐.正弦信号中任意相位处的幅值测量[J].自动化仪表, 2002(8):64-65,第 23 卷,第 8 期.
 [6] 方原柏.变送器的量程比与精确度[J].冶金自动化,2003,(1):54-56.
 [7] Murty D. Transducers and Instrumentation[M]. 2. PHI Learning, 2009-12-1.
 145 [8] 陈敏,马丽.传感器特性曲线的一种拟合方法[J].传感器技术,2003,(1):38-40.