

# 宽量程智能射频功率检测系统研究

姚达雯, 周国平, 封维忠, 黄峰, 王鑫鑫

(南京林业大学 信息科学与技术学院, 南京 210037)

**摘要:** 介绍了一种基于数字衰减器 HMC274 及功率-电压转换芯片 AD8362 的新型宽量程射频信号功率检测系统; 利用微控制器 STC12C5A60S2 控制 HMC274 的衰减值, 确保被测信号的功率真值在 AD8362 的线性转换范围内, 从而使量程上限提高了 31 dB; 并通过 GSM 模块 TC35i 和 LCD 显示模块, 分别实现了对功率值的远程和近程检测; 经过对 900 MHz 射频信号的实验测试和数据拟合, 功率真值量程扩大到了  $-50 \sim +40$  dB, 输出灵敏度为 50 mV/dBm。

**关键词:** 射频功率; HMC274; AD8362; TC35i; 宽量程

## Study of Wide-range and Intelligent RF Power Detection System

Yao Dawen, Zhou Guoping, Feng Weizhong, Huang Feng, Wang Xinxin

(College of Information Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** A new wide-range RF power detection system based on digital attenuator HMC274 and power-voltage converter AD8362 is introduced. Using the MCU STC12C5A60S2 to control the attenuation value of HMC274 and making sure the RF true power is within the linearity range of AD8362, so as to increase the upper range value for 31dB. Through GSM module TC35i and LCD display module, the power value can be detected in long and short distances. After the experiment of 900MHz RF signal and data fitting, the result shows the true power detection range has been enlarged from  $-50$ dB to  $+40$ dB and the output sensitivity is 50mV/dBm.

**Key words:** RF power; HMC274; AD8362; TC35i; wide-range

## 0 引言

在通信系统中, 前级电路中产生的小功率射频信号需要经过一系列的放大缓冲级、中间放大级、末级功率放大级, 以获得足够大的射频输出功率, 射频功率放大器输出功率的范围可以小至毫瓦, 大至数千瓦, 为了确保末级输出功率既达到发射要求, 又不会过大使设备过热损坏, 需要宽量程的射频功率计对其进行检测。传统的射频功率计电路复杂, 集成度低, 自美国 ADI 公司推出 AD8362 全集成化射频功率真值检测芯片后, 大大提高了检测精度, 简化了检测电路。然而, AD8362 在  $50 \Omega$  系统中测量功率的范围是  $-50 \sim +10$  dBm, 其量程上限不满足大功率的测量。为此, 本文采用 STC12C5A60S2 单片机智能控制 Hittite 公司推出的 5 位砷化镓集成数字衰减器 HMC274 来弥补这一限制。并通过 GSM 短信模块和 LCD1602 为检测人员分别从远程和近程实时显示检测结果, 实现了射频功率信号的全智能监测。

## 1 设计原理

宽量程射频功率检测系统结构如图 1 所示, 数字衰减器 HMC274QS16 的衰减初值设为 0 dB, 射频信号通过数字衰减器后, 由射频变压器 ETC1.6-4-2-3 将单端输入转换为差分输入到功率-电压转换芯片 AD8362, 输出电压经单片机内部 A/D 转换后, 通过显示模块显示功率真值, 当单片机检测

到的电压超过 AD8362 的功率上限  $+10$  dBm 对应的 3.5 V 时, 控制数字衰减器以步进 1 dB 调节衰减量, 将输入 AD8362 的功率控制在它的线性范围内, 从而使量程上限提高 31 dB。监测的射频功率值由 LCD1602 显示, 此外, 还可以通过 GSM 模块和 GSM 网络以短信的形式发送给检测人员。

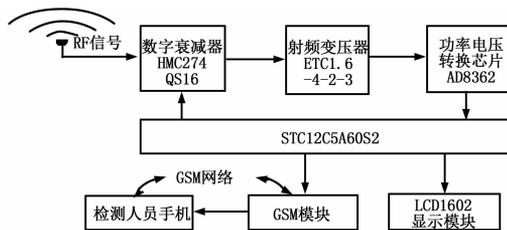


图 1 系统框图

## 2 系统硬件设计

### 2.1 数字衰减器

衰减器是引入一预定衰减值的能量损耗型电路, 内部含有电阻性材料。假设信号输入端的功率为  $P_1$ , 输出端的功率为  $P_2$ , 衰减器的功率衰减量为  $A$  (dB)。若  $P_1$ 、 $P_2$  以 dBm 表示, 则两端功率间的关系为  $P_2$  (dBm) =  $P_1$  (dBm) -  $A$  (dB)。

HMC274QS16 是美国 Hittite 公司推出的砷化镓 IC 数控衰减器。16 脚 QSOP 封装, 由 5 位正电平以 1 dB 的调节步长控制  $0 \sim 31$  dB 的衰减量, 能工作在  $0.7 \sim 2.7$  GHz 带宽范围内, 误差在  $\pm 0.5$  dB 内。射频信号 RF1 由它的 16 脚输入, 9 脚输出衰减后的 RF2, 5 位衰减量控制端 V1~V5 分别控制 16 dB, 8 dB, 4 dB, 2 dB, 1 dB 衰减量, 分别由单片机 STC12C5A60S2 的 I/O 口 P2.0~P2.4 自动控制。数字衰减器

收稿日期: 2013-12-30; 修回日期: 2014-02-28。

作者简介: 姚达雯 (1989-), 女, 江苏常州人, 研究生, 主要从事仪器科学和计算机测控方向的研究。

周国平 (1963-), 男, 陕西咸阳人, 副教授, 主要从事电气自动化技术的教学与研究。

的硬件连接图如图 2 所示, 其中与 9 脚和 16 脚相连的 100 pF 电容起到直流滤波的作用, 9 脚 RF2 输出通过 5 kΩ 上拉电阻与供电电压 3~5 V 相连。

### 2.2 功率—电压转换电路

转换电路的主要作用是把射频信号的功率真值转换为对应的电平信号输出, 从而给单片机加以识别。本设计采用 AD8362 芯片作为转换电路的核心, 它的测量结果与信号波形无关, 在 50 Hz~2.7 GHz 的宽频带范围内能准确测量功率真值, 在 50 Ω 系统中测量功率的范围是 -50~+10 dBm, 输出电压灵敏度为 50 mV/dBm, 测量误差为 ±0.5 dBm。AD8362 的输出电压与输入信号功率的关系满足公式:  $V_{out} = k_s (P_{in} - P_2)$ 。  $V_{out}$  的线性变化范围为 0.5~3.5 V,  $k_s$  为输出灵敏度,  $P_m$  为输入功率,  $P_2$  可理解为输出电压的线性方程式中功率的截距。

转换电路原理图如图 2 所示。由 HMC274QS16 的 9 脚输出的射频信号 RF2 经过射频变压器 ETC1.6-4-2-3 后, 差分输入到 AD8362 的 INHI, INLO 脚。ETC1.6-4-2-3 是美国 M/A-COM 公司的一款阻抗比为 1:4, 适用于 0.5~2.5 GHz 的射频信号。加入射频变压器不仅实现了与数字衰减器 50 Ω 输出阻抗的匹配, 还实现了直流隔离和共态抑制, 提高了信号传输的抗干扰能力和测量精度。

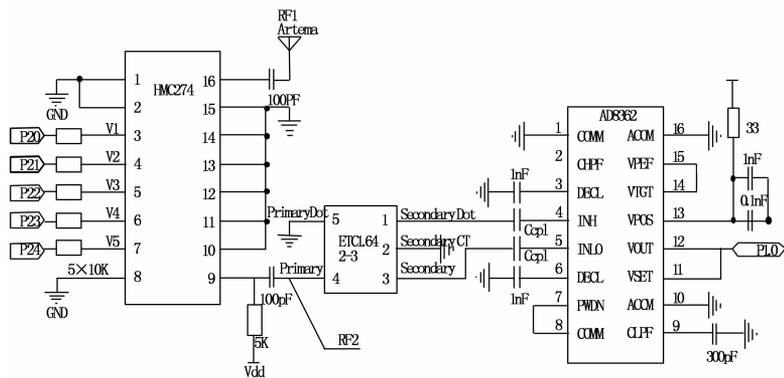


图 2 功率—电平转换电路

### 2.3 GSM 短信模块及电压转换电路

本设计采用的 GSM 短信模块是西门子公司推出的新型无线通信模块 TC35i, 该模块卡主要包括接口电路, SIM 卡座电路和串口电路。电压为 3.3~4.8 V, 可以工作在 900 MHz 和 1 800 MHz 两个频段。具有 AT 命令集接口, 支持文本和 PDU 模式的短消息、传真。

GSM 模块的电路如图 3 所示, 24~29 脚与 SIM 卡引脚相连。32 脚与指示灯相连, LED 熄灭时, 说明 TC35i 处于关闭或睡眠状态; 当 LED 为亮熄各 600 ms 时, 说明 SIM 卡没有插入或者 TC35i 正在进行网络登录; 当 LED 为 75 ms 亮、3 s 熄时, 说明 TC35i 已牵手网络, 处于待机状态。此外, TC35i 模块的数据接口是 CMOS 电平, STC12C5A60S2 的输出的是 TTL 电平, 因此, 单片机需要通过集电极开路的正相高压驱动器 7407 以提供足够大的电流来驱动 TC35i。

应当注意的是, TC35i 电源供电范围为 DC3.3~4.8 V, 推荐使用的是 DC4.2 V。而单片机工作电压是 5 V, 因此, 必须通过电压转换电路为其供电。本设计采用高性能微波电路专

用稳压芯片 LM2941 产生一个 4.2 V 左右的电压供给。电压转换电路如图 3 所示。

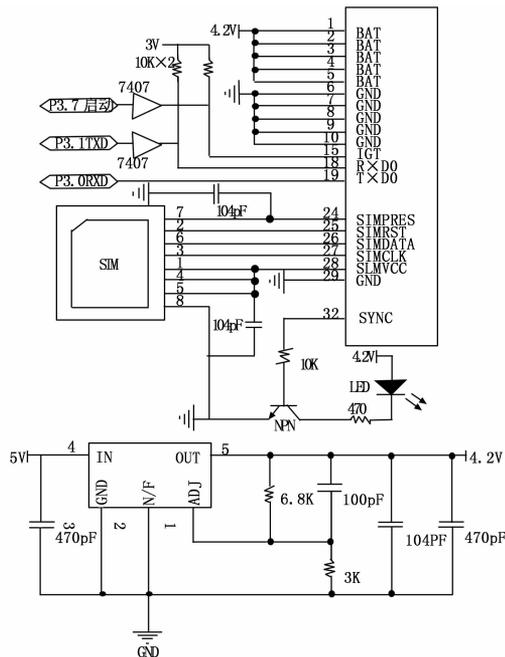


图 3 GSM 短信模块电路及电压转换电路

### 2.4 微控制器和 A/D 转换

单片机在本设计中的工作主要有以下几个: (1) 接收由 AD8362 输出的电平信号, 并进行 A/D 转换; (2) 判断电平信号的大小有否超过 3.5 V, 若超过则通过 I/O 口控制 HMC274 的衰减量, 直至输出电平回归到线性范围内, 并将衰减量叠加到检测量上, 得出真正的输入功率; (3) 控制 LCD1602 显示输出电平和功率真值; (4) 控制 TC35i 模块的启动及通信, 将 AD8362 输出电平与功率真值以短信模式发送出去。

针对以上几个作用, 选用宏晶科技的 STC12C5A60S2 系列单片机作为主控芯片。它具有高速, 低功耗, 抗干扰能力强等特性, 速度是传统 8051 的 8~12 倍, 最重要的是其内部集成 8 路 10 位高精度 ADC, 转换速度可达每秒 25 万次, 此外还简化了电路, 增强了集成度, 利用这些特征, 可以对 AD8362 的输出电平进行快速采样和模数转换, 并对转换后的数字量加以判断, 调整衰减器后再反复进行采样和转换, 确保转换的精度和速度。此外还具有两个用 UART 工作方式的全双工串行通信口, 方便与 TC35i 模块的通信。

### 3 系统软件设计

软件设计采用模块化设计, C 语言编程, 主要包括电平数据采集, 数据处理, 衰减器控制量的调整和存储, LCD1602 液晶显示和 PDU 格式的 SMS 发送模块等部分。程序流程如图 4 所示。应当注意的是:

- (1) 在电平数据采集部分, 采用 30 次采样的均方根值作为 A/D 转换的模拟量, 以此来减少外部干扰造成的数据波动。
- (2) 在数据处理部分, 为了准确获得输出电平对应的功率

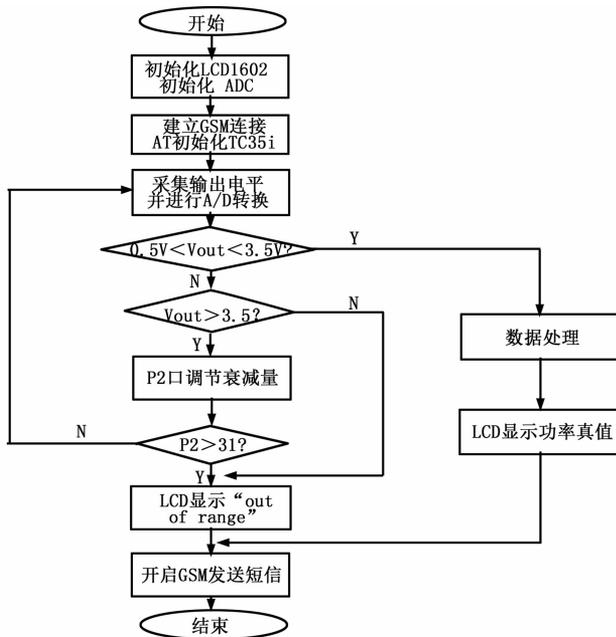


图 4 程序流程图

真值，必须提前做以下工作：

①注意在常温（25℃）下不同频率输入信号经过 HMC274QS16 和 ETC1.6-4-2-3 产生的插入损耗的不同，并通过软件补偿。

②为了获得准确的输出电平和输入功率的关系，将测量的 100 组数据（AD8362 输出电平和对应 ZY12RFSys32BB1 射频训练系统产生射频信号的真实功率）用美国 OriginLab 公司推出的数据分析和制图软件 Origin7.5 拟合直线并与 AD8362 参考输出曲线进行了比较，从而确定两者的关系。

（3）在 SMS 发送部分，首先要用 AT 指令对 TC35i 初始化，包括 AT 指令测试，对波特率、禁止指令写回、工作模式等进行设定。对应格式如表 1 所示。

表 1 AT 指令对照表

AT 指令	指令描述
AT \ r	AT 指令测试
AT+IPR	通信波特率设定
ATE0 \ r	禁止写回
AT+CMGF	短信格式设定
AT+CNMI	模块工作方式设定

表 2 PUD 发送协议格式

SMSC 信息长度	首个 SMS-SUBMIT PDU8 位组	TP-Message 参考考
地址长度	地址类型	地址数据（号码）
TP-PID 协议类型型	TP-DCS 编码类型型	TP 有效时间段段
TP 用户数据长度度	TP 用户数据（短信息）	

采用 PDU 格式的发送协议。与文本格式相比，PUD 格式不仅支持任何编码，应用效果好，而且不需要预置编码选项。具体 PUD 发送协议格式如表 2 所示。

### 4 实验结果与数据分析

在室温（25℃）下，对 900 MHz 射频信号进行了测试采集，查表得到对应 HMC274QS16 和 ETC1.6-4-2-3 的插损分别为 1.9 dB 和 1 dB。

通过 ZY12RFSys32BB1 射频训练系统产生 900 MHz 的射频信号，并记录功率真值及对应 AD8362 输出电平，将测试得到的 100 组数据录入到 Origin7.5 的表格中。

接着利用 Origin 软件进行直线拟合和数据分析，得到的线性关系如图 5 所示。拟合直线模型  $V_{out} = A + B * P'_m$ ，得  $A = 2.85492 \pm 0.00223$ ， $B = 0.05015 \pm 0.00018$ 。将实验所得拟合直线与 AD8362 的参考输出曲线进行对比，两条直线的斜率基本相等，拟合直线向左平移后与参考直线基本重合。已知 AD8362 在 900 MHz 的输出参考曲线：

$$V_{out} = k_s(P_m - P_z) = k_s * P_m - k_s * P_z = 0.05P_m + 3$$

其中  $k_s$  是输出电压灵敏度，为 50 mV/dBm，功率截距  $P_z$  为 -60 dBm。将射频信号在传输到 AD8362 之前的损耗设为  $P_l$ ， $P_m = P'_m - P_l$ ，则拟合直线：

$$V_{out} = k_s(P'_m - P_l - P_z) = 0.05P'_m + 2.85 = 0.05(P'_m - P_l + 60) = 0.05P_m + 3$$

求得  $P_l = 3$  dB，可见信号传输到 AD8362 前端的损耗主要来自于数字衰减器和射频变压器的插损。整个系统的输出灵敏度主要取决于 AD8362 的输出灵敏度。

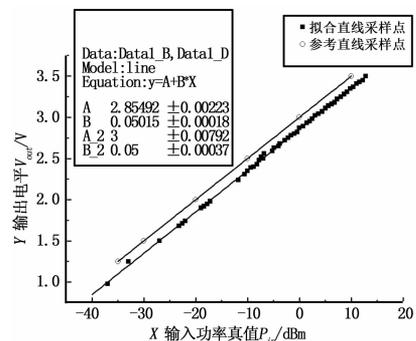


图 5 拟合直线与参考直线对比

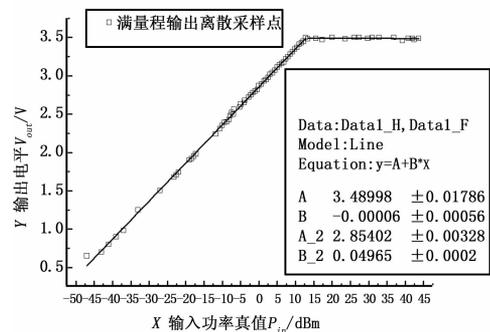


图 6 满量程输出曲线

确定了输出电平和输入功率的关系之后，对系统进行了满量程检测，通过 ZY12RFSys32BB1 射频训练系统产生 -50~+40 dB 的 900 MHz 射频信号，测量结果如图 6 所示。由此可见，当射频信号功率真值大于 10 dB 时，（下转第 1728 页）

表 1 百分比平均偏差与相关系数

转矩	20%		40%		100%	
	TSA	D-A	TSA	D-A	TSA	D-A
信噪比 (%)	1.12	1.84	4.85	3.31	5.65	2.90
百分比平均偏差 (%)	1.05	0.96	1.19	0.93	3.05	0.80

在表中可以看出 D-N 方法的去噪明显强于 TSA 去噪方案，不论是信噪比和百分比平均值都要强于同步时间序列的方法，但是表中指出在 20% 情况下 D-N 算法的方法要低于 TSA 方法，这是由于非线性投影去噪是取决于振动光谱的分析，并且平时的应用当中一般都会在中高扭矩的情况下运行车辆，此例显示了更可靠的性能在高扭矩水平。

### 5 结论

振动信号的质量是和这些数据来进行故障诊断和预测是密切相关的，故障预警的实施需要一些高质量的数据来进行试验，数据的特点和信号提取往往被干扰和噪声所掩盖掉，本文的盲反卷积去噪计划的开发是从变速箱上获取振动信号，而去噪计划使用一个递归过滤技术的一个成本函数最小化，用来改善振动信号的信噪比，然后用特征提取的方法去除噪声数据，从数据的准确度和精度方面于 TSA 去噪方法进行比较，信噪比和性能指标的试验结果表明盲反卷积去噪比常规去噪更有效率，这样的信号处理技术明显降低了故障检测阈值，提高了诊断和预警的技术，在高速列车当中，盲反卷积去噪计划时很实用的方法之一，它可以应用到各种系统中，特别是在非线性系统中的开发有很大的研究价值。

#### 参考文献

[1] Peled R, Braun S, Zacksenhouse M. A blind deconvolution separation of multiple sources, with application to bearing diagnostics [J]. Mech. Syst. Signal Process, 2005, 19: 1181-1195.

[2] Onel I Y, Benbouzid M. Induction motor bearing failure detection (上接第 1724 页)

单片机控制 HMC274 的衰减量，输入到 AD8362 的射频信号减小到 3.5 V 以下，图 6 中，在 +13~43 dB 范围内，输出电压趋近于临近 3.5 V 的一条直线，此时的射频信号功率真值应当为单片机 P2 口控制的衰减量与 AD8362 输出电压对应功率真值的和，可由单片机数据处理得到。

### 5 结论

本设计中，笔者将数字衰减器 HMC274 及功率-电压转换芯片 AD8362 相结合，以单片机 STC12C5A60S2 为主控芯片，设计了一款新型的宽量程射频信号功率真值检测系统，并利用 GSM 短信模块实现了远程和近程的检测。通过实际检测，用 Origin7.5 软件进行了数据拟合和结果分析，测量结果精确，满足设计要求，实现了预期的宽量程功率真值的检测。

#### 参考文献

[1] 沙占友. 功率测量技术及其应用 [J]. 电源技术应用, 2006, 9 (7): 56-59.

[2] 陈冶金, 孟文, 徐正平, 等. GSM 模块在汽车远程控制预热器

and diagnosis; Park and concordia transform approaches comparative study [J]. IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2008, 13 (2): 257-262, Apr. 2008.

[3] Djeziri M, Merzouki R, Bouamama B, et al. Robust fault diagnosis by using bond graph approach [J]. IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2007, 12 (6): 599-611.

[4] Cade I, Keogh P, Sahinkaya M. Fault identification in rotor/magnetic bearing systems using discrete time wavelet coefficients [J]. IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2005, 10 (6): 648-657.

[5] 曾刚. 滚动轴承微弱故障信号检测方法研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2010.

[6] 苏文胜. 滚动轴承振动信号处理及特征提取方法研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2010.

[7] Orchard M. A particle filtering-based framework for on-line fault diagnosis and failure prognosis [D]. Georgia Inst. Technol., Atlanta, GA, Nov. 2007.

[8] Wu B, Saxena A, Khawaja T, et al. An approach to fault diagnosis of helicopter planetary gears [A]. Proc. AUTOTESTCON [C], San Antonio, TX, 2004, 475-481.

[9] Ayers G R, Dainty J C. Iterative blind deconvolution method and its applications [J]. Opt. Lett., 1988, 13 (7): 547-549.

[10] 程军圣, 杨宇, 于德介. 局部均值分解方法及其在齿轮故障诊断中的应用 [J]. 振动工程学报, 2009, 22 (1): 76-84.

[11] 沈英才, 刘朝英, 宋雪玲. 计算机测量控制系统的自诊断方法 [J]. 计算机测量与控制, 2004, 11, 1043-1044, 1063.

[12] 朱大奇, 于盛林. 基于知识的故障诊断方法综述 [J]. 安徽工业大学学报 (自然科学版), 2002, 19 (3): 76-79.

[13] 秦岭, 杨君. 小波包分析在旋转机械故障诊断中的应用 [J]. 电子工程师, 2006, 32 (1) 48.50.

[14] Ayers G R, Dainty J C. Iterative blind deconvolution method and its applications [J]. Opt. Lett., 1988, 13 (7): 547-549.

[15] Antoni J. Blind separation of vibration components: Principles and demonstrations [J]. Mech. Syst. Signal Process, 2005, 19 (1): 1166-1180.

中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (4): 907-909.

[3] 周平, 胡永红. 基于 ATmega 1280 接收机功率检测控制器的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (10): 1436-1438.

[4] 毕宁强, 朱瑞祥. 基于 TC35i 的土壤信息远程监测系统 [J]. 农机化研究, 2012, 3 (3): 187-190.

[5] 徐君, 王雪梅. 基于 AVR 的机载应答机射频功率探测模块设计 [J]. 测控技术, 2011, 30 (12): 1-3.

[6] 王卫东. 高频电子电路 (第 2 版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.

[7] 王化祥, 张淑英. 传感器原理及应用 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2007.

[8] 胡革. 中频功率在线监测研究与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2006.

[9] 朱君豪. 高频衰减器的设计与制作 [J]. 军事通信技术, 1987, 3 (23): 75-78.

[10] 廖成芳, 陈迪平, 李学军, 等. 带自适应控制的直放站线性功率放大器 [J]. 微计算机信息, 2008, 24 (5-2): 291-292.

[11] 姬翠翠, 朱华, 江炜. 基于 Matlab 和 Origin 实现测力传感器的静态标定 [J]. 传感器与微系统, 2007, 26 (12): 106-108.