

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

### 概述

MAX5216LPT评估板(EV)用于评估环路供电的4-20mA电流环变送器，具有故障限流功能和高速可寻址远程传感器(HART)调制解调器输入/输出就绪指示，评估板采用MAX5216单通道、低功耗、缓冲输出的3线SPI接口、16位DAC；MAX6133 3ppm/°C、低功耗电压基准；MAX9620单通道、零漂移、RRIO、高精度运算放大器；MAX15007 40V、超低静态电流LDO。还提供Windows XP®、Windows Vista®和Windows® 7兼容软件，具有简单的图形用户界面(GUI)，方便熟悉器件特性。

订购信息在数据资料的最后给出。

### 元件列表

DESIGNATION	QTY	DESCRIPTION
C2, C16	2	1μF ±10%, 50V X7R ceramic capacitors (0805) Murata GRM21BR71H105KA12
C3	1	0.1μF ±10%, 50V X7R ceramic capacitor (0805) Murata GRM21BR71H104KA01
C4	1	10μF ±10%, 16V X5R ceramic capacitor (0805) Taiyo Yuden EMK212BJ106KG-T
C5, C6, C10, C12-C14, C18, C21	8	0.1μF ±10%, 16V X7R ceramic capacitors (0603) Murata GRM188R71C104K
C7, C8, C17	3	1000pF ±10%, 50V X7R ceramic capacitors (0603) Murata GRM188R71H102KA01

Windows、Windows XP和Windows Vista是Microsoft Corporation的注册商标和注册服务商标。

### 特性

- 12V至40V宽输入电压范围
- 将16位数字码转换成4-20mA环路电流
- 可编程偏压和增益
- +25°C时，电流误差< 0.02 % FS
- 全温度范围，电流误差< 0.1 % FS
- -40°C至+105°C工作温度范围
- 30mA ±20%电阻可调限流
- 200μA (典型值)/300μA (最大值)静态电流
- HART调制解调器输入、输出就绪
- 通过MAXQ622微控制器直接进行USB通信
- Windows XP/Windows Vista/Windows 7 (32位)兼容软件
- SPI接口终端
- 经过验证的PCB布局
- 完全安装并经过测试

DESIGNATION	QTY	DESCRIPTION
C9, C11, C15, C19, C20, C22, C25	7	1μF ±10%, 16V X7R ceramic capacitors (0603) Murata GRM188R71C105K
C23, C24	2	18pF ±5%, 50V COG ceramic capacitors (0603) Murata GRM1885C1H180J
D1	1	Schottky diode (SC79) NXP RB751S40,115
D2	1	TVS diode (SMA) Burns SMAJ36CA
FB1	1	600Ω ferrite bead (0805) API Delevan EMI0805R-600
J1	1	Mini-USB type-B, right-angle PC-mount receptacle Hirose UX60A-MB-5ST
J2	0	Not installed, 10-pin (2 x 5) header, 0.1in centers

本文是英文数据资料的译文，文中可能存在翻译上的不准确或错误。如需进一步确认，请在您的设计中参考英文资料。有关价格、供货及订购信息，请联络Maxim亚洲销售中心：10800 852 1249 (北中国区)，10800 152 1249 (南中国区)，或访问Maxim的中文网站：china.maximintegrated.com。

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

### 元件列表(续)

DESIGNATION	QTY	DESCRIPTION
J3–J7, J9, J11	6	2-pin headers, 0.1in centers Sullins PEC36SAAN
J8	1	3-pin header. 0.1in center Sullins PEC36SAAN
J10	1	2.54mm, 2-position, side-entry terminal block Phoenix Contact 1725656
Q1	1	N-channel MOSFET (SOT223) Fairchild NDT014L
Q2	1	Bipolar npn transistor (SOT23) NXP MMBT3904,215
R1	1	287k $\Omega$ $\pm$ 0.1%, 1/10W resistor (0603) Panasonic ERA-3AEB2873V
R2	1	24.9k $\Omega$ $\pm$ 0.1%, 1/10W resistor (0603) Susumu RG1608P-2492-B
R3	1	2M $\Omega$ $\pm$ 1%, 1/10W resistor (0603) ROYALOHM TC0650F2004T4E
R4, R8	2	301 $\Omega$ $\pm$ 1%, 1/10W resistors (0603) Panasonic ERJ-3EKF3010V
R5, R12, R18	3	1k $\Omega$ $\pm$ 1%, 1/10W resistors (0603) Panasonic ERJ-3EKF1001V
R6, R15–R17	4	24.3 $\Omega$ $\pm$ 1%, 1/10W resistors (0603) Panasonic ERJ-3EKF24R3V
R7	1	100 $\Omega$ $\pm$ 0.1%, 1/10W resistor (0603) Panasonic ERA-3AEB101V
R9, R10	2	10k $\Omega$ $\pm$ 1%, 1/10W resistors (0603) Panasonic ERJ-3EKF1002V
R11, R13	2	49.9k $\Omega$ $\pm$ 1%, 1/10W resistor (0603) Panasonic ERJ-3EKF4992V

DESIGNATION	QTY	DESCRIPTION
R14, R19, R22–R24	5	100 $\Omega$ $\pm$ 1%, 1/10W resistors (0603) Panasonic ERJ-3EKF101V
R20	1	3.3k $\Omega$ $\pm$ 1%, 1/10W resistor (0603) Panasonic ERJ-3EKF3301V
RS	1	10 $\Omega$ $\pm$ 0.1%, 1/10W resistor (0603) Bourns CRT0603BY10R0ELF
TP1	1	Red PC test point, compact 0.06in Kobiconn 151-107-RC
TP2	1	Black PC test point, compact 0.06in Kobiconn 151-103-RC
TP3–TP13	11	Turret terminal pins Mill-Max 2108-2-00-44-00-00-07-0
U1	1	16-bit VOUT DAC (8 $\mu$ MAX <sup>®</sup> ) Maxim MAX5216GUA+
U2	1	Single zero-drift RRIO op amp (5 SC70) Maxim MAX9620AXK+
U3	1	2.5V, 3ppm/ $^{\circ}$ C, low-power voltage reference (8 $\mu$ MAX) Maxim MAX6133A25+
U4	1	3.3V, ultra-low quiescent current, LDO (6 TDFN) Maxim MAX15007AATT+
U5	1	16-bit microcontroller with USB 2.0 interface (64 LQFP) Maxim MAXQ622G-0000+
Y1	1	12MHz crystal oscillator (HC49US) Citizen HCM49-12.000MABJ-UT
—	1	PCB: MAX5216LPT Rev. A

$\mu$ MAX是Maxim Integrated Products, Inc.的注册商标。

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

### 元件供应商

SUPPLIER	PHONE	WEBSITE
API Delevan	408-865-0344	www.delevan.com
Bourns, Inc.	408-496-0706	www.bourns.com
Citizen America Corp.	310-781-1460	www.citizencrystal.com
Fairchild Semiconductor	888-522-5372	www.fairchild.com
Hirose Electric Co., Ltd.	81-3-3491-9741	www.hirose.com
Kobiconn	800-346-6873	www.mouser.com/kobiconn
Murata Electronics North America, Inc.	770-436-1300	www.murata-northamerica.com
NXP Semiconductors	408-474-8142	www.nxp.com
Panasonic Corp.	800-344-2112	www.panasonic.com
Sullins Electronics Corp.	760-744-0125	www.sullinselectronics.com
Susumu International USA	208-328-0307	www.susumu-usa.com

注：在联系这些元件供应商时，请说明您使用的是MAX5216LPT。

### 快速入门

#### 所需设备

- MAX5216LPT评估板
- 评估板为即插即用设备，通过USB-A至Mini-B电缆连接至PC
- 评估板预装默认固件，与MAX5216LPT评估软件通信。软件可安装并运行在Windows XP、Windows Vista和Windows 7操作系统

注：以下章节中，与软件相关的条目用粗体表示。粗体字表示直接由评估软件提供的条目。粗体字加下划线表示与Windows操作系统相关的条目。

#### 步骤

评估板已完全安装并经过测试。按照以下步骤验证评估板的工作情况：

- 1) 从网页 [china.maximintegrated.com/design/tools/applications/evkit-software/](http://china.maximintegrated.com/design/tools/applications/evkit-software/) 下载最新版本的评估软件MAX5216LPTGUIvxx.ZIP。解压文件并运行setup.exe，按照说明在PC上安装评估软件。软件将复制程序文件，并在Windows的**Start | Programs**菜单创建图标。
- 2) 利用USB电缆将MAX5216LPT连接至PC。无需其它驱动器；Windows将新设备识别为人机接口设备(HID)并自动查找和安装正确的驱动。更多信息请查看设备属性：Device Manager\Human Interface Control\USB Input Device\Properties -> USB\VID\_0B6A&PID\_1234，参见图1。

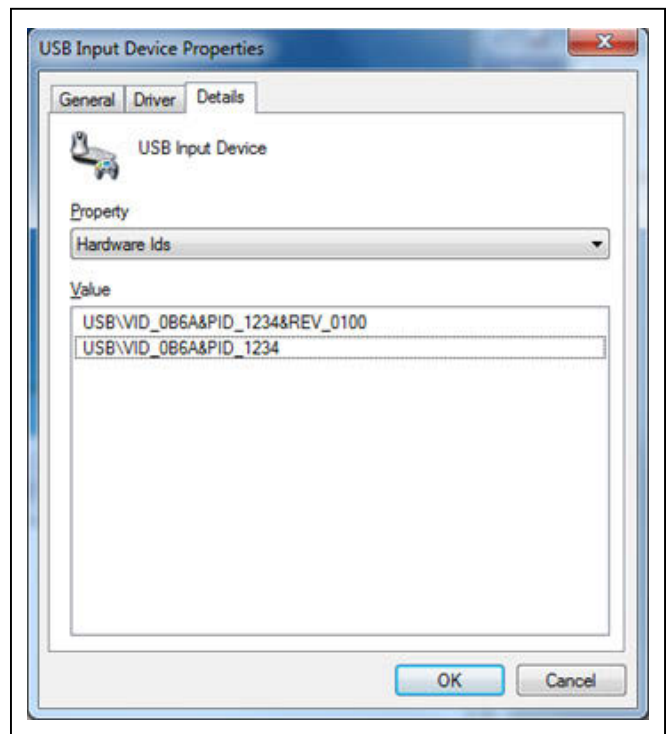


图1. USB输入设备属性

- 3) 运行MAX5216LPT.exe程序。应用程序的GUI如图2所示。

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

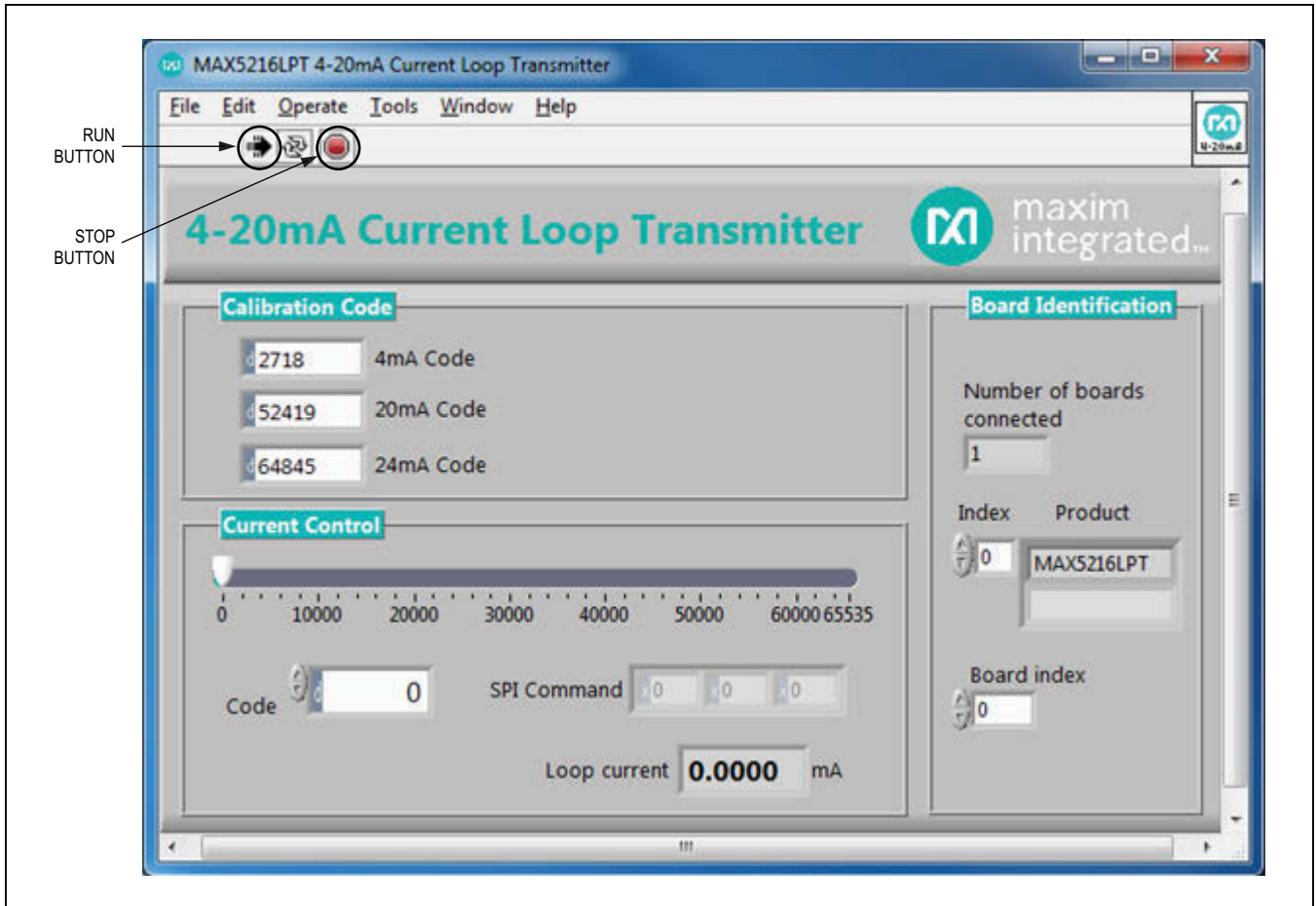


图2. MAX5216LPT GUI

### 软件详细说明

MAX5216LPT评估板GUI (图2)默认处于工作状态。应用程序检查连接至PC的全部USB VID/PID 0x0B6A/0x1234电路板，显示在GUI的右侧。最多可将16块电路板连接至系统，每块电路板具有唯一的电路板序列号。从Board index数字选择框中选择相应的电路板序列号(图3)。

为正确工作，必须首先校准评估板。将外部12V至40V电源连接至LOOP+ (TP1)和LOOP- (TP2)测试点之间，或者

连接至J10连接器(见图13a原理图)。强烈推荐使用隔离电源。在高精度负载上连接高精度数字电压表(DVM)。为快速校准，可将板载100Ω 0.1% R7电阻用作高精度负载；此时，拆下J9短路器，将DVM连接在J9接头。负载为100Ω时，DVM显示的电压应小于0.350V，意味着电路板耗流小于3.5mA。向右侧移动滑动端，直到DVM显示数值近似为0.4V。利用Code control数字选择框旁边的上/下箭头，将R7检流电阻上的压降精调为恰好等于400mV。在Calibration Code组合框的4mA Code字段输入该编码。

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

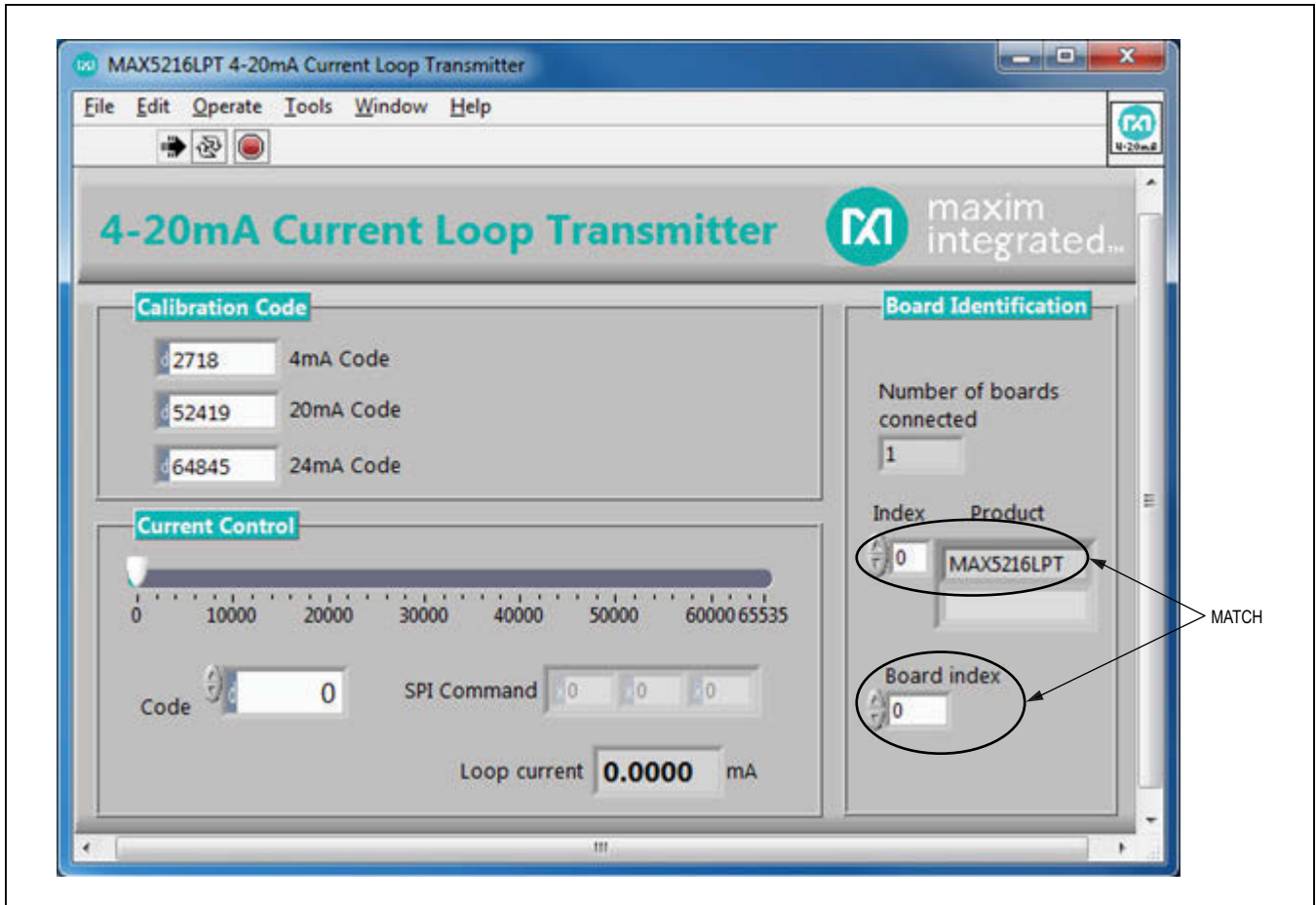


图3. 在具有多个电路板的系统中选择电路板索引

继续相同的步骤，查找20mA环路电流的校准码。当环路电流达到20mA时，DVM显示R7上的电压为2.000V。将20mA编码输入Calibration Code组合框的20mA Code字段。也可以通过在Code Control数字选择框中输入十进制、十六进制、八进制或二进制值设定环路电流(图4)，电路板支持0至65535 ( $2^{16}-1$ )十进制或0至FFFF十六进制值。记数法显示在输入框的左侧。

现在，改变滑动端位置时，在GUI的Loop current文本框显示对应的电流。4mA和20mA环路电流的校准码可写入电路板，避免将来校准，如图5所示。如果需要，可继续相同的步骤查找24mA环路电流的对应编码。

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

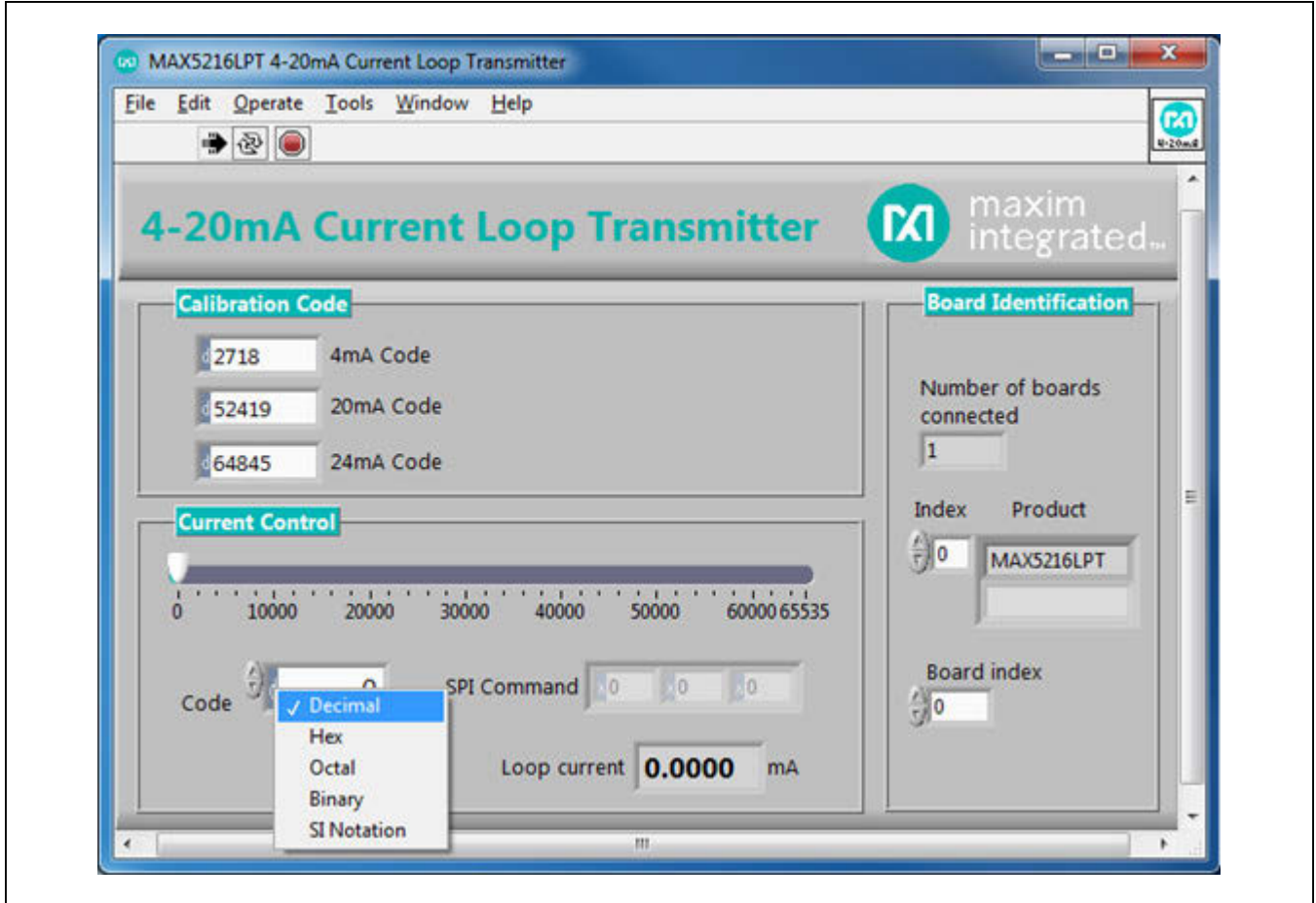


图4. 数据格式选择对话框



# MAX5216LPT评估板

评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

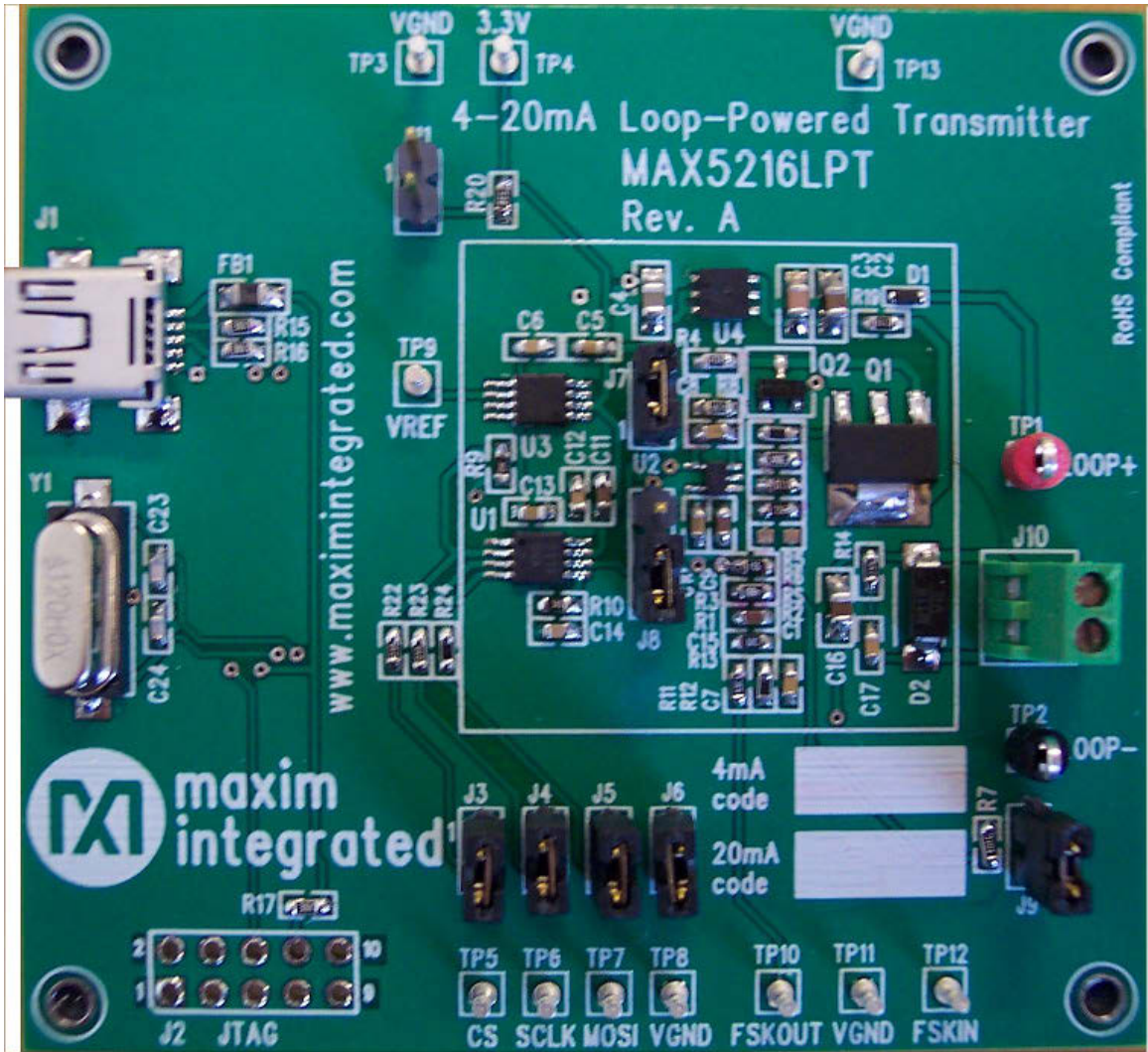


图5. MAX5216LPT电路板

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

### 硬件详细说明

MAX5216LPT评估板已安装MAX5216, Maxim同等产品中功耗最低的16位DAC (U1); MAX6133A25电压基准(U3); MAX9620零漂移、RRIO高精度运算放大器(U2)以及MAX15007 40V低静态电流LDO (U4)。详细电路请参见图6所示框图, 以及图13a和13b原理图。板载MAX6133A25 (U3)为DAC提供3ppm/°C低温漂、低静态电流以及2.500V高精度电压基准。MAX5216 (U1)通过3线高速SPI总线接收来自16位MAXQ622微控制器(U5)的命令, 仿真智能传感器; MAX9620 (U2)运算放大器、Q1功率MOSFET及 $10\Omega \pm 0.1\%$ 检流电阻( $R_{SENSE}$ )将其输出分压, 并转换成环

路电流。U1-U3由MAX15007 3.3V低噪声LDO稳压器(U4)供电, U4由外部电源供电。Q2 BJT晶体管和检流电阻R6组成限流电路。该电路将环路电流限制到约30mA, 防止发生失控或损坏可编程逻辑控制器(PLC)侧的ADC。肖特基二极管(D1)和瞬态电压抑制器(D2)为安全器件, 防止变送器产生反向电流及过压浪涌条件。

U1器件可工作在50MHz时钟频率, 但该电路板上的SPI总线速度被U5微控制器限制到6MHz。评估软件允许通过全速USB 2.0总线和U5微控制器设定环路电流。微控制器已预装与GUI通信固件。

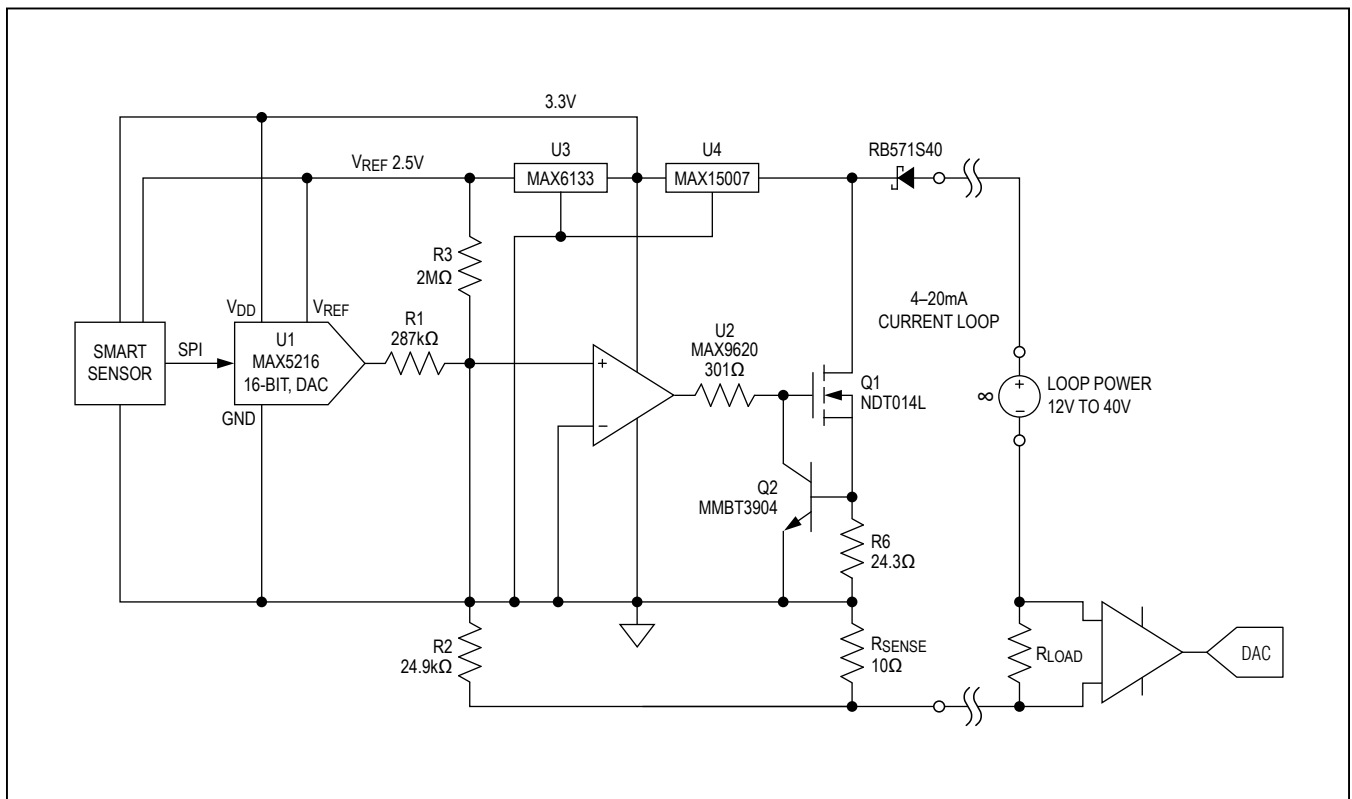


图6. MAX5216LPT评估板方框图



## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

### 工作原理及关键设计参数

图6所示的方框图提供高性能、低功耗、元件数量最少的4-20mA电流环路变送器设计方案，具有最佳性价比。

需要选择低功耗、高性能元件，以满足4-20mA电流环的0.1%电流误差要求。所选元件在-40°C至+105°C温度范围的最大耗流小于300μA。除低功耗外，MAX9620的25μV（最大值）零漂移输入失调电压使该运算放大器对于电路的精度和稳定性都非常理想。U2运算放大器跟踪R2和R<sub>SENSE</sub>电阻的压降，在其两个输入节点维持0V。

该电路成立以下关系式：

$$I_{OUT} = I(R2) \times \frac{R2}{R_{SENSE}} \quad \text{EQ1}$$

$$I(R2) = I(R1) + I(R3) \quad \text{EQ2}$$

式中，

I<sub>OUT</sub>为环路电流，

I(R2)为通过R2电阻的电流，

I(R1)为通过R1电阻的电流，

I(R3)为通过R3电阻的电流。

EQ2中，假设U2的IN+和IN-输入电流为0。

按照EQ1和EQ2，4mA初始环路电流由I(R3)电流设定，而I(R1)为0。

因此：

$$I_{OUT\_INIT} = I(R3) \times \frac{R2}{R_{SENSE}} \quad \text{EQ3}$$

通过R3电阻的电流等于U3输出除以R3，可将EQ3重写为：

$$I_{OUT\_INIT} = \frac{V_{REF}}{R3} \times \frac{R2}{R_{SENSE}} \quad \text{EQ4}$$

按照有关4-20mA电流环传输故障信息的Namur NE43建议，测量信息的信号范围为3.8mA至20.5mA，允许过程读数发生略微的线性超量程。该电路板的实际支持范围为3.2mA至24.6mA。从EQ4求解R3得到：

$$R3 = V_{REF} \times \frac{R2}{R_{SENSE} \times I_{OUT\_INIT}} = 2.5 \times \frac{24.9 \times 10^3}{10 \times 3.2 \times 10^{-3}} = 1.945 \times 10^6 (\Omega) \quad \text{EQ5}$$

由于保证电阻为严格的1.945MΩ将产生相当高的成本，并且不适合自动化生产和现场校准，所以建议使用规格为1%容限的电阻，通过用U1 DAC校准抵消4mA失调电流和20mA满幅电流，实现高精度。这种情况下，需要校准部分数字编码，以确保要求的精度。

I(R1) = V<sub>DAC</sub>/R1，其中V<sub>DAC</sub>为U1 DAC输出电压，可重写为：

$$I(R1) = \frac{V_{REF} \times \text{CODE}}{65535 \times R1} \quad \text{EQ6}$$

及

$$I(R3) = \frac{V_{REF}}{R3} \quad \text{EQ7}$$

最后，EQ1重写为：

$$I_{OUT} = V_{REF} \times \left[ \frac{\text{CODE}}{65535 \times R1} + \frac{1}{R3} \right] \times \frac{R2}{R_{SENSE}} \quad \text{EQ8}$$

根据EQ8，4-20mA电路环变送器的无源元件及VREF误差分析见表1。

注：4-20mA变送器设计计算器/误差分析电子表格请参考：[china.maximintegrated.com/design/tools/calculators/product-design](http://china.maximintegrated.com/design/tools/calculators/product-design)。建议使用Data标签页中的What-If Analysis/Goal-Seek功能查找对应于4mA、20mA和24mA I<sub>OUT</sub>的编码。

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

表1. 4-20mA电流环变送器误差分析

COMPONENT	TOL (±%)	MINIMUM	NOMINAL	MAXIMUM	UNITS
V <sub>REF</sub>	0.04	2.4990	2.5000	2.5010	V
R1	0.1	286.71	287	287.29	kΩ
R2	0.1	24.88	24.9	24.92	kΩ
R3	1	1980.00	2000	2020.00	kΩ
R <sub>SENSE</sub>	0.1	0.00999	0.0100	0.01001	kΩ
—	—	<b>MINIMUM</b>	<b>NOMINAL</b>	<b>MAXIMUM</b>	<b>UNITS</b>
Zero-scale DAC code		0	0	0	Decimal
Zero-scale I <sub>OUT</sub>		3.07430	3.11250	3.15149	mA
4mA DAC code		2806	2682	2555	Decimal
4mA I <sub>OUT</sub>		3.99984	4.00015	3.99999	mA
Full-scale DAC code		65535	65535	65535	Decimal
Full-scale I <sub>OUT</sub>		24.69058	24.8024	24.91527	mA
20mA DAC code		51314	51025	50734	Decimal
20mA I <sub>OUT</sub>		19.99988	20.00007	19.99995	mA
4mA error		-0.00410	0.00381	-0.00016	% FS
20mA error		-0.00061	0.00035	-0.00026	% FS
24mA I <sub>OUT</sub> DAC code		63441	63111	62779	Decimal
24mA I <sub>OUT</sub>		23.99989	24.00013	24.00002	mA

注：阴影单元为TBD。

本例中，如果R3电阻为标准1%容限、2MΩ，将U1设置为2682十进制编码，那么得到的初始环路电流为4.00015mA。注意，由于高分辨率U1 DAC校准消除了个体元件的误差，所以计算得到的总误差远远小于个体元件的容限。4-20mA电流环变送器的有效位数(ENB)计算如下：

$$ENB = \frac{\text{LOG}(20\text{mA DAC CODE} - 4\text{mA DAC CODE})}{\text{LOG}(2)}$$

根据表1中的数据，ENB = 15.56位。

还有其它误差源需要解决，例如U2运算放大器的±25μV V<sub>OS</sub>，以及每个元件的温度系数。图7-12为MAX5216LPT 4-20mA电流环变送器的典型特征数据。环路电流由Agilent-HP3458A DVM测量环路负载/249Ω检流电阻的电压测得。

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

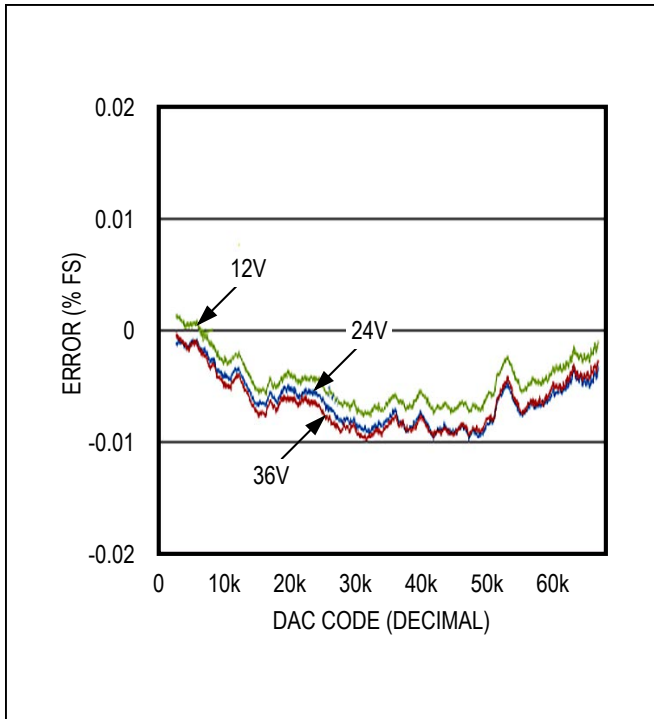


图7. +25°C下，变送器误差

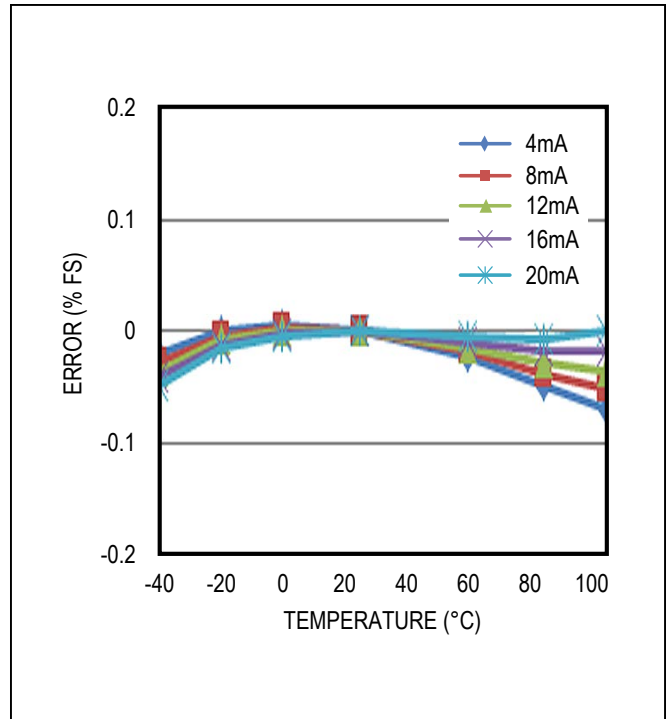


图9. 变送器误差变化与温度的关系图，12V环路电源

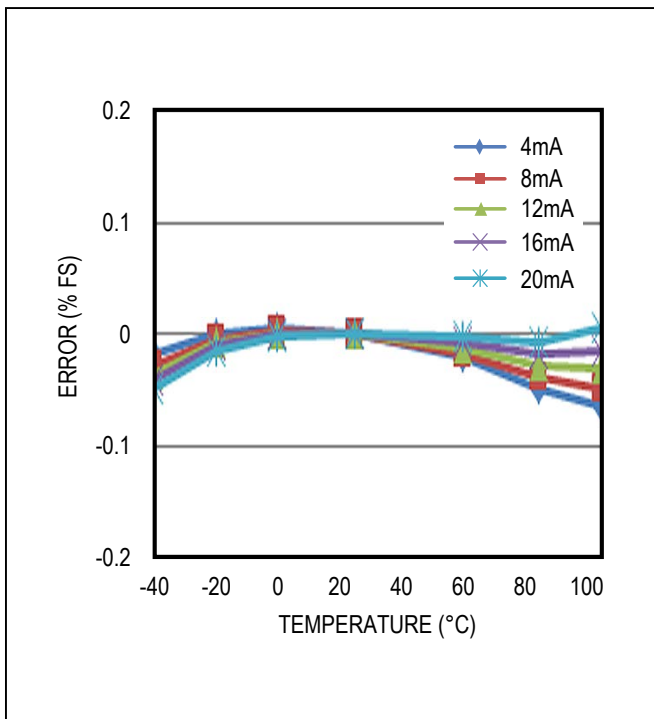


图8. 变送器误差变化与温度的关系图，24V环路电源

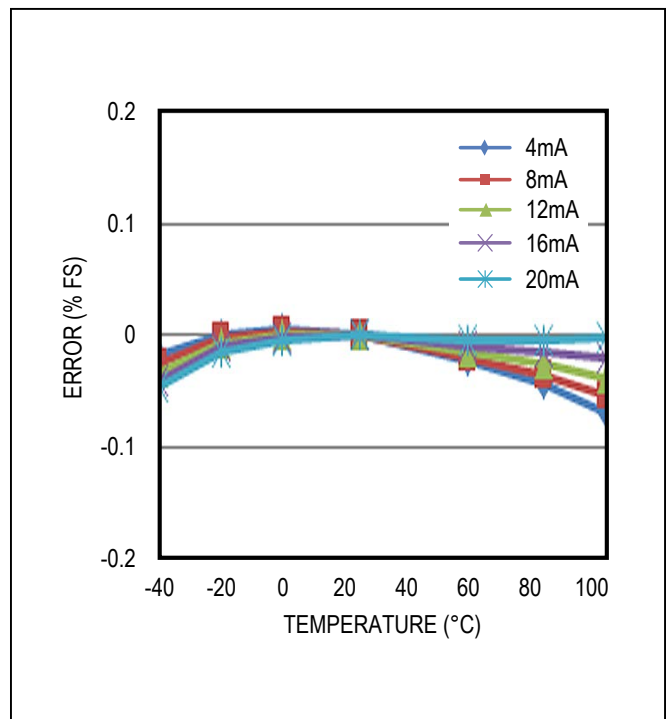


图10. 变送器误差变化与温度的关系图，36V环路电源

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

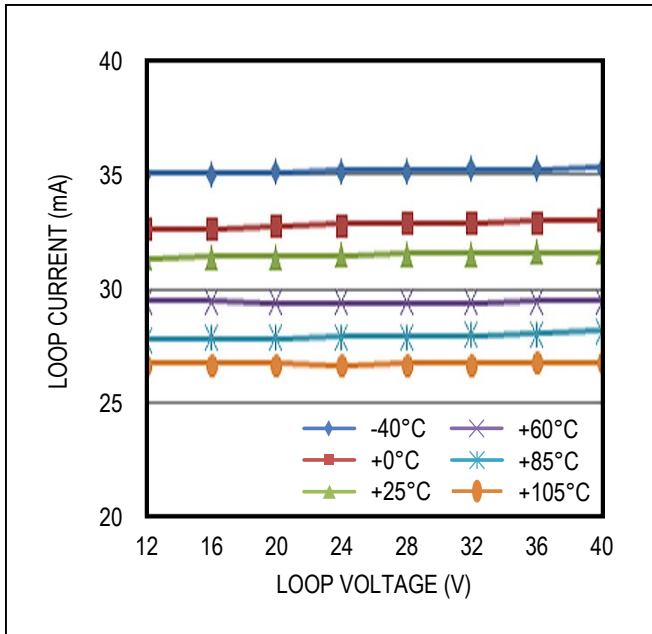


图11. 限流值与环路电源电压的关系图

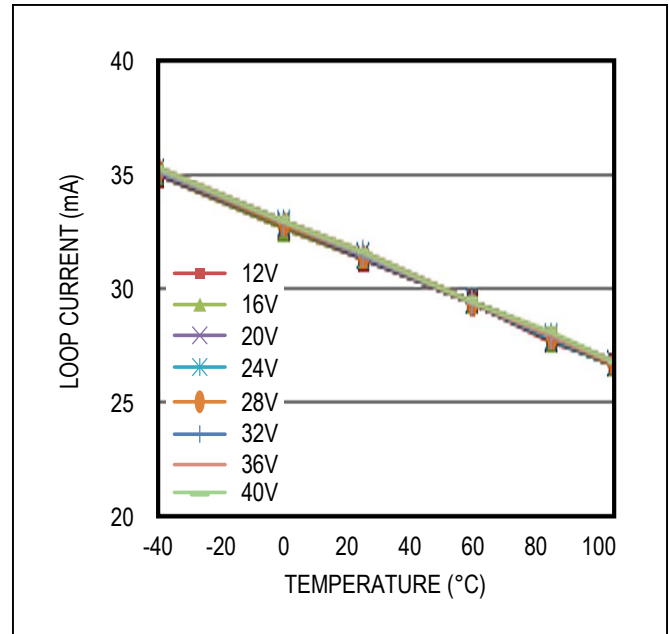


图12. 限流值与温度的关系图

### MAX5216LPT扩展特性

- 1) 电路板静态电流大约为200 $\mu$ A (典型值), 允许智能传感器耗流高达3.4mA。可由连接在R7上的DVM测得该电流, 测量时拆下短路器J7, U1编码为0。拆下J7短路器时, 消除4mA失调电流。
- 2) 4mA失调电流与智能传感器的实际耗流无关。安装J11短路器时增加1mA附加电流, 但4mA失调电流(R7上电压为400mV)不变化。
- 3) 将短路器J8从默认位置1-2移到位置2-3, 可强制产生限流条件。
- 4) 可利用外部SPI主控制器对评估板进行全速SPI总线范围评估。为达到上述目的, 必须对电路板进行以下更改:
  - 拆下J3-J5短路器(元件布局见图10)。
  - 将SPI总线, CS、SCLK、MOSI和VGND从TP5-TP8连接至外部主控制器。确保输入电压( $V_{IH}$ )在指标范围之内且兼容于3.3V电平。注意, 为正确工作, 可能需要进行数字隔离。
  - 发送命令至DAC。
- 5) 电路板提供HART接口, 使用DS8500-KIT HART调制解调器通过4-20mA电流环路交换数据。只需将调制解调

器的FSKOUT引脚(P2.3)连接至TP10, 将调制解调器的GND (P2.5)连接至TP11, 将FSKIN引脚(P2.2)连接至TP12。将DS8500评估板的P2.1引脚(V33)连接至TP4 (3.3V)。利用数字接口发送和接收数据。更多信息请参考DS8500 IC数据资料和DS8500评估板数据资料。

也可以通过J2 JTAG连接器利用自定义固件编程评估板的微控制器。

### 表2. JTAG连接器说明(J2)

PIN	LABEL	FUNCTION
1	TCK	Test clock
2	GND	Digital ground
3	TDO	Test data output
4	N.C.	No connect
5	TMS	Test mode select
6	RST	Reset
7	N.C.	No connection
8	+5V	+5V from the JTAG debug adapter
9	TDI	Test data input
10	GND	Digital ground

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

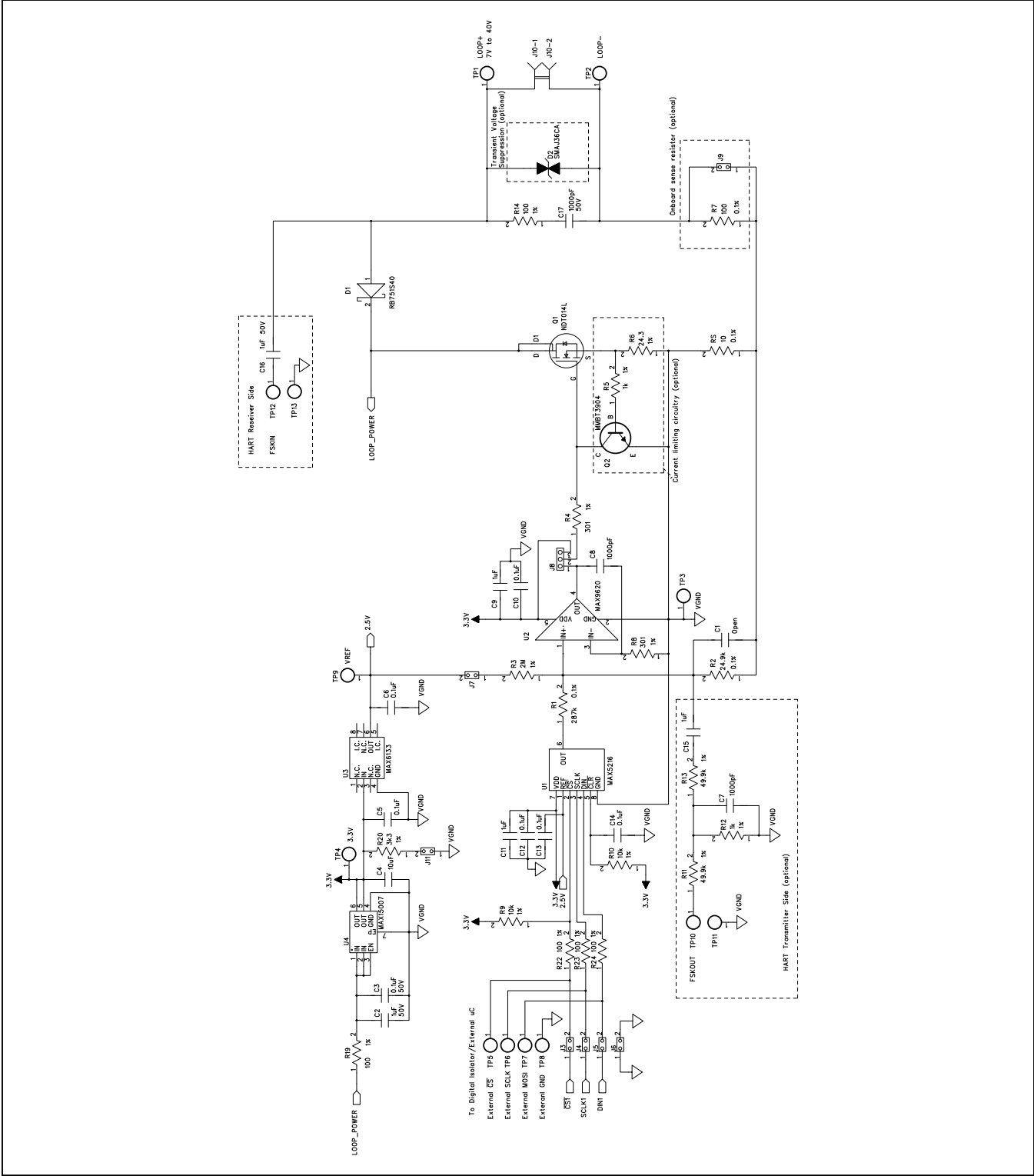


图13a. MAX5216LPT评估板原理图(1/2)



# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

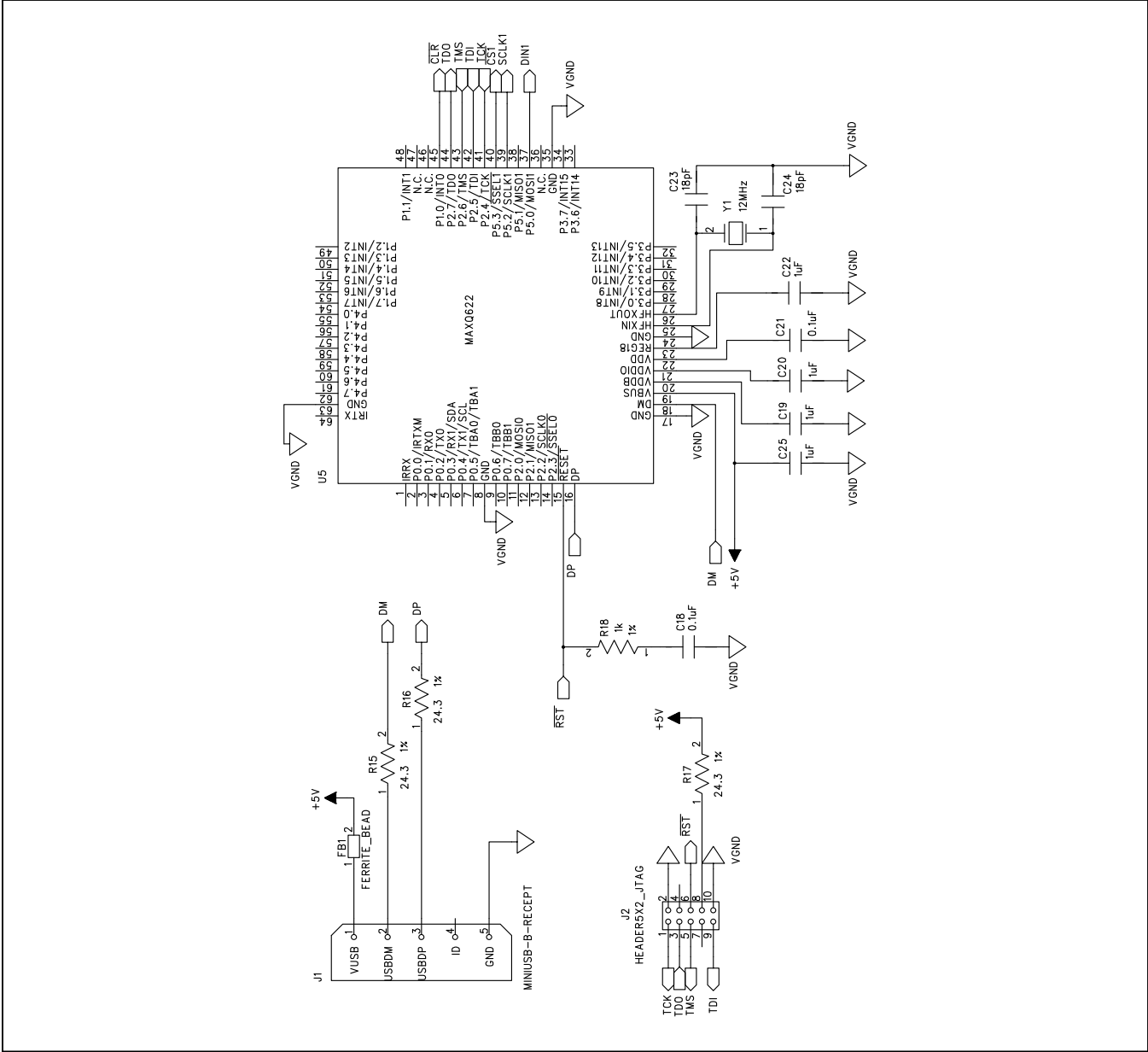


图13b. MAX5216LPT评估板原理图(2/2)

# MAX5216LPT评估板

评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

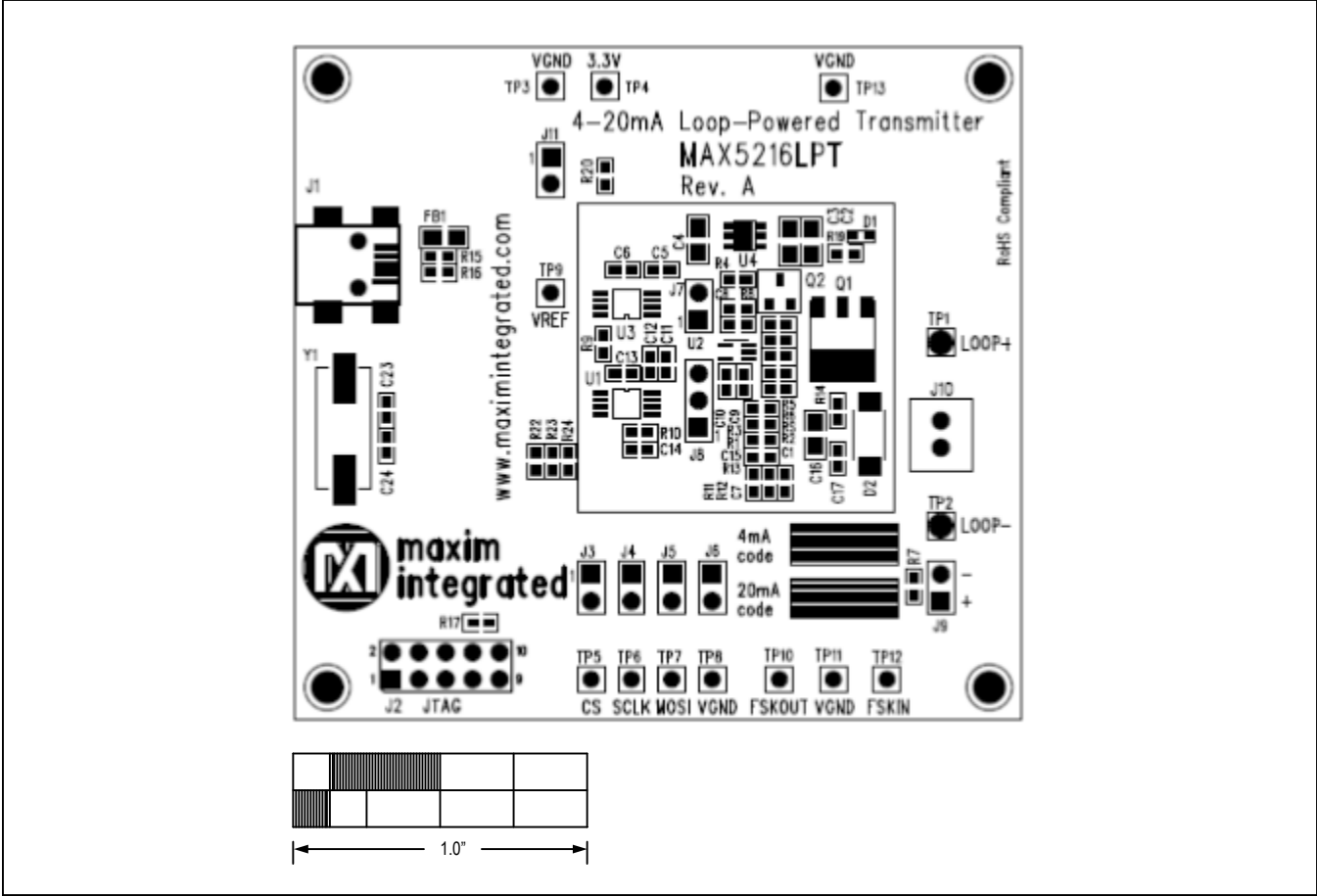
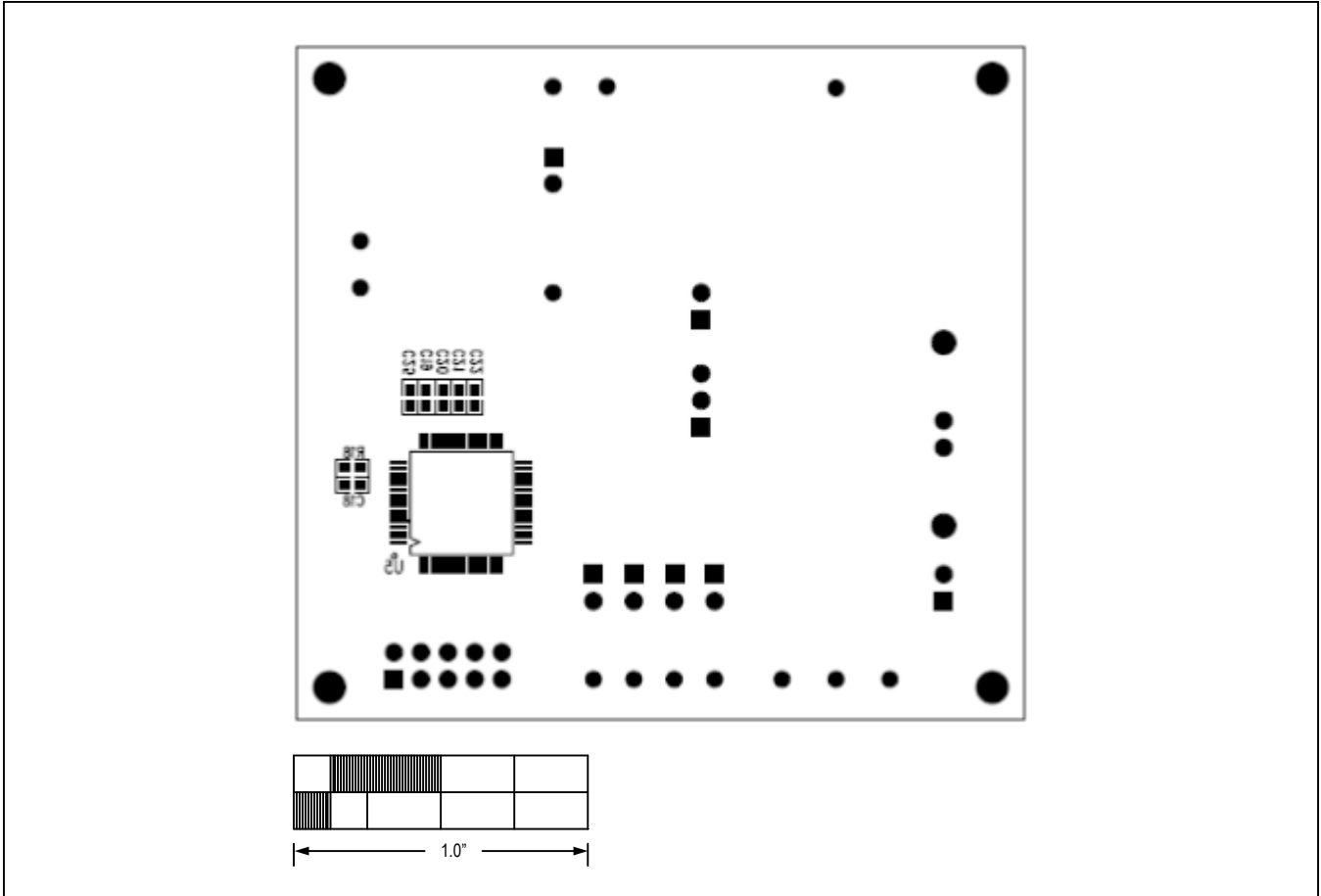


图14. MAX5216LPT评估板元件布局——顶层装配图

# MAX5216LPT评估板

评估：4-20mA环路供电变送器参考设计



Contact the Support Center at <https://support.maximintegrated.com/designdesk/index.mvp> for full layout drawings and/or a Gerber file for the MAX5216LPTEVKIT board.

# MAX5216LPT评估板

评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

## 订购信息

器件	类型
MAX5216LPT#	EV Kit

#表示符合RoHS标准。

# MAX5216LPT评估板

## 评估：4-20mA环路供电变送器参考设计

### 修订历史

修订号	修订日期	说明	修改页
0	5/13	最初版本。	—

### Maxim北京办事处

北京8328信箱 邮政编码100083

免费电话：800 810 0310

电话：010-6211 5199

传真：010-6211 5299



Maxim不对Maxim产品以外的任何电路使用负责，也不提供其专利许可。Maxim保留在任何时间、没有任何通报的前提下修改产品资料和规格的权利。电气特性表中列出的参数值(最小值和最大值)均经过设计验证，数据资料其它章节引用的参数值供设计人员参考。

**Maxim Integrated 160 Rio Robles, San Jose, CA 95134 USA 1-408-601-10 00**

**18**

© 2013 Maxim Integrated

Maxim标志和Maxim Integrated是Maxim Integrated Products, Inc.的商标。