

如何提高精度减少测量误差（一）

关于接地回路引起的测量误差（待续）

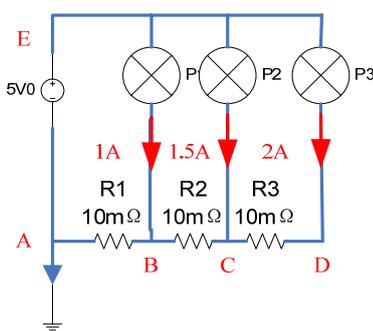
“误差”，英文中笼统地表述为“Error”，而在实际使用中，我们往往会加上一些定语以表示误差的属性，例如在一份A/D转换芯片上，我们通常能见到诸如：“失调误差（Offset Error）”、“增益误差（Gain Error）”、“线性误差（Linearity Error）”等和误差相关的名词，在一片A/D转换芯片中，它们有着各自相对独立但又相互影响的作用去限制这片芯片的多项指标。因此了解这些名词的含义以及它们对芯片性能的影响，将有助于工程师提高所设计电路的性能。

经常有一些做电路设计的同学问我，如何降低某某误差，我通常回答是“降低失误，减少偏差”，这句话在很多场合是不适用的，因为它只关心“人为”因素所引起的“偏差”，言外之意就是：芯片的很多参数和指标已经给定，这些参数或者指标几乎是不能指望工程师在给定的应用中去改善它的，而是要通过电路的合理设计去避免恶化这些既定的参数或者指标。

在6月20日，捷硕科技推出了TDM1001型数显直流电压电流表，包括19999字、4000字、5000字和6000字显示4种，涵盖了直流电压、直流电流、交流电压以及交流电流等4种测量类型。有朋友曾对我说过：“三位半、四位半的电压表或者电流表做起来不难，都有单芯片解决方案的”，这位朋友说的没错，三位半或者四位半表头，确实只要单芯片就能解决，但其实做一个能用的表头容易，做一个好用的表头不容易，用好这个好用的表头更不容易。市场上有数不清的表头产品，涵盖了各种功能，在捷硕科技的TDM1001型数显表正式推出前，本人作为设计工程师，也曾买过多种品牌的产品进行对比测试，其设计工艺、用料等各有千秋，当然性能有着各自的差异。捷硕科技在前期积累了许多精密仪表的设计经验，因此这款产品，公司在精度定义、工艺、选材以及功能上做了很多考虑，比如保留UART通讯接口，就是为智能仪表的设计埋下了伏笔。

本文着重讲解捷硕科技的TDM1001型数显电压电流表在应用中，应当如何去避免因为接地回路所引起的测量误差。“地”对大家来说都不陌生，那么什么是“地”，下面这段话，是Tim Willams先生对“地”的定义“A fundamental property of any electronic or electrical circuit is that the voltages present within it are referenced to a common point, conventionally called the ground”这段话着重强调的是“地”是作为电路的基准点、参考点的定义。

在一个电路中，“地”其实定位在“0”，“零点”，作为信号变化的起始点，比如我们说要给某芯片供电，使用+5V供电，这个5V，其实就是以“地”为“0”参考点。



左图中，A为“地”，P1~P3为用电器，AE间接了+5V的电源，ABCD为接地回路，R1~R3为接地回路上地线的电阻。各用电器的电流如图。

现在假如要测试AE之间的电压，使用万用表，我们将红表笔接在E端，黑表笔接在A端，测试出来为5.00V；通常我们认为由于ABCD都属于“地”的范畴，于是我们可以将黑表笔接在B端，此时读数将变为4.955V，（计算为： $5V - 10m\Omega * (1A + 1.5A + 2A) = 4.955V$ ），这少了的45mV就是因为接地电阻R1上的压降引起，因此我们在测量时，参考点选择的不同将影响我们所测试的结果。同样，当我们选择以D点为参考点时，测出来的电压将变为4.9V（计算为： $5V - R1 * 1A - R2 * (1.5A + 2A) - R3 * 2A = 4.9V$ ），整整少了0.1V。

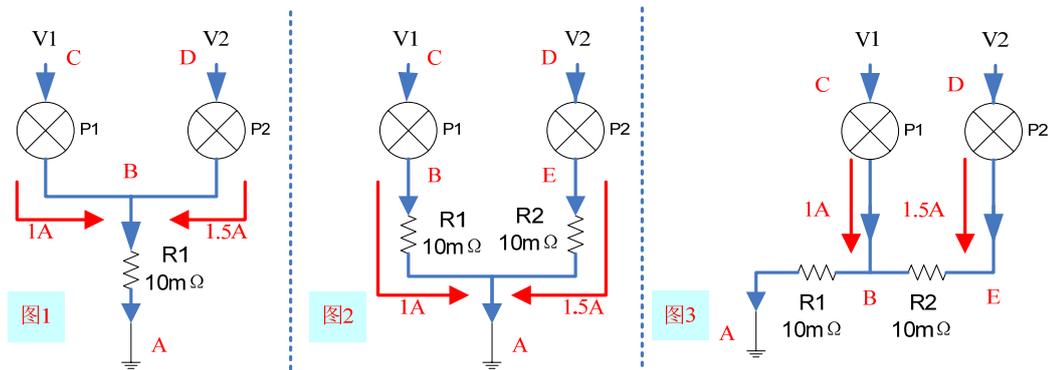
这就是因为测试时参考点的不同而引起的测量误差，因此在一个电路中，只存在一个参考“0”点，图中就是“A点”，因为有接地电阻以及这些接地电阻上有实际的电流流过，B、C、D这些参考点已经不再是“0”了。

通常情况下，一段长10厘米，宽1mm的PCB铜箔（1OZ厚度），电阻大概在50mΩ左右。而长度改为2厘米时，也有10mΩ的电阻，当用电器的电流约束在mA级别，测量精度在1mV级别时，这些电阻所引起的测量误差几乎是可以忽略的。比如上图中，当P1、P2和P3的电流分辨改为10mA、15mA和20mA时，BA之间测量，引起的误差仅为0.45mV，对于1999字显示的电压表来说，将会有1个字的跳动，但是对19999字显示的4位半表头来说，就会相差4到5个字了。DE两点所引起的误差将会更大（1mV），因此在进行测量时，选择参考点是至关重要的。

前面已经了解,因为测量时,参考点的不同将会引起一定测量误差,那么我们应该如何去避免这些误差呢?简单而言,就是把测试点直接接在被测设备的两端,比如测量P1的压降,我们应该将红黑表棒直接接在P1的两端,这样测出来的结果就会比较正确,假如黑表笔接在A或者C上,就免不了误差了。

A. 单点接地

“单点接地”这个名词听起来不是很陌生,尤其是在模数混合、大小功率电路同板布局的时候会被经常考虑,那么什么是单点接地呢?简单说就是所有用电电路的回流地都按模块独立连接到“地”,这个“地”就是前面所讲的“0”。比如下图2就是一个例子,P1通过BA这条线路回到A点,P2通过EA这条线路回到A点。再看图1和图3,P1和P2都不是单独接地,他们都受到接地电阻R1以及其流过电流所带来压降的干扰。图3是我们常见的一种接地形式,因为相对来说设计比较简单,只要一个大平面或者引一条地线就可以了,但是在模数混合、大小功率电路同板布局时所带来的问题最多最严重,但相对来说B点的稳定性比E点好一些,因此比较敏感的电路应该放在P1处。



做为接地设计,图3相对而言比较简单,但是假如采用图2所示,那么将会有许多独立的地线存在,设计起来就没有那么容易了。捷硕科技的TDM1001电压电流表在设计时,是严格按照单点接地的原则进行设计的,尽量避免表自身因为接地问题所引起的测量误差。

经常有朋友问我具体的模数混合布局时,地平面的处理情况,尤其是一些模数混合芯片,比如A/DC或者D/AC芯片。很多缺少经验的工程师都会布成图4所示的样式,将模拟和数字部分的地独立铺成一个平面,然后在芯片的肚皮下方或者某个地方实现数模两块地平面的连通(图4中的红线条B)。若如此,其情况大体如图3所示(假设P2为模拟部分,P1为数字部分),模拟和数字部分都存在相互的干扰,尤其是在高分辨率的ADC或DAC芯片中,将会大大降低芯片的有效分辨率。比如一块24bit的ADC,使用2.5V参考源,那么理想状态下其能分辨到0.14uV(计算为: $2.5V/2^{24}=0.14uV$),假设模拟部分供电为10mA,数字部分供电为100mA,那么R1引起的误差电压为1mV,假如数字部分有1mA的电流噪声,即在R1上产生10uV的噪声,那么这个噪声将会使这片24bit的ADC在使用中降低为18bit的ADC了($10uV/0.14uV=72 \approx 2^6$, $24-6=18$)。这里还不包括前述1mV电压引起的线性误差,故在高精度测量时接地回路所引起的测量误差在将不可小觑,要慎重对待参考点以及接地回路的设计。图5,则模数分开,单独引线到“地”,相当于图2所引起的误差将会远远小于图4的接地形式。在图4中,接地B,在实际设计中,很多朋友都会使用磁珠或者电感去替换,殊不知电感或者磁珠有着几十毫欧甚至几欧的直流阻抗,这无疑会使得本来就不是很理想的接地回路雪上加霜。

