

## 利用2400系列数字源表对二极管生产进行测试

## 概述

为了保证制造商性能指标的一致性,在出厂前发现并清除有缺陷器件,对封装二极管进行单点通过/失败直流测试至关重要。在最后的检测过程中,大部分类型的二极管要经历至少3种主要的直流参数测试,它们是:前向电压测试( $V_F$ )、击穿电压测试( $V_R$ )以及漏电流测试( $I_R$ )。尽管这些测试的可靠性对于确保产品质量至关重要,但同样重要的是,为了保持较高的产量,这些测试必须迅速完成。

通常进行这些测试需要几种仪器,包括数字万用表、电压源和电流源。不过,随着测试系统中仪器数量的增加,整个测试过程正在减慢,并降低了测试吞吐量。

利用分立数字万用表和电压/电流源配置的系统,要比将这些功能集成在单一设备内的系统占用更多的机架空间。除了设备成本较高,3个分立仪器还意味着要学习3套命令,从而使系统编程和维护较为复杂。使用多个仪器和信号源还将使触发器定时更加复杂,并增加触发的不确定性。此外,分立仪器运行的协调也将增加所需的总线交易数量,从而延长测量周期,这也会降低测试吞吐量。

这个应用笔记说明如何利用可以作为电流/电压源并测量电流和电压的单一仪器来配置生产测试系统。2400系列数字源表就可以提供这种能力,它包括2400型数字源表、2410型高压数字源表以及2420型大电流数字源表。本文还对二极管三个主要参数测试进行了说明,并对测试系统和IEEE-488总线操作进行了介绍。

除了三个主要参数测试(又称作功能测试),本应用笔记还介绍了如何对二极管极性进行测试。许多较新型表面安装二极管,如小外形二极管(SOD)封装,都需要极性测试。这种二极管不能自动调整自身方向,使之与器件分拣机方向保持一致,因此有时候可能必须确定二极管的极性,然后再开始进行全部功能测试序列。

在吉时利公司网站可以下载这个应用的两个示例程序。欲了解如何获得这些程序的详细情况,请参见本应用笔记的“示例程序”部分。

## 测试说明

图1给出上面描述的每个测试的测试点。

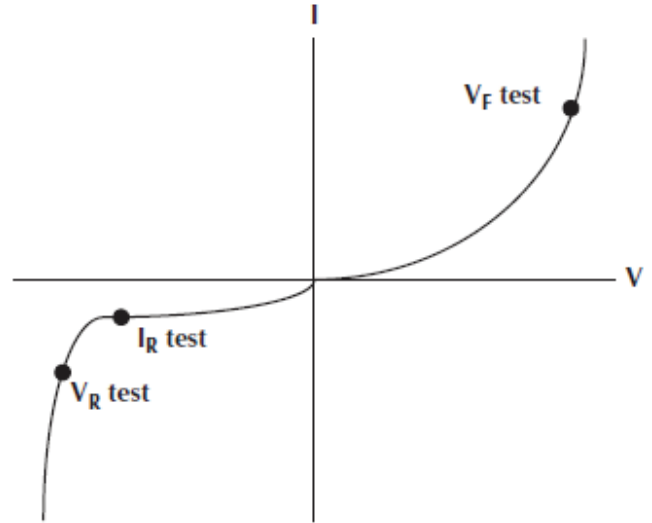


图1. 典型二极管 I-V 曲线及测试点 (不按比例)

## 极性测试

极性测试的目的是:在完成器件功能测试以前,安全而迅速地确定二极管的方向性。利用二极管的击穿特性可以判别二极管极性,共有以下两种方法。让正向电流通过二极管,并测量电压。电压测量结果低于1V(通常)表明二极管的正向极性,而高电压则表明击穿及反向极性。也可以让负向电流通过二极管,在这种情况下,电压测量结果低于1V表明反向极性,而高电压则表明击穿和正向极性。至于二极管极性测试中选择上述哪种方法,主要取决于测试程序的整体结构。

正向电压测试( $V_F$ )

这个功能测试包括在二极管的正常工作范围内施加指定正向偏置电流,然后测量二极管电压降。欲通过测试,电压必须在指定的电压最小值与最大值范围之内。

反向击穿电压测试( $V_R$ )

在这个测试中,施加指定的反向电流偏移,然后测量二极管电压降。为了确定二极管是否通过测试,要将测量结果与指定的最小限度进行比较。

漏电流测试( $I_R$ )

漏电流主要检测二极管在反向电压条件下泄漏的微小电流。其测试过程是:向二极管施加指定的反向电压,然后测量泄漏的电流。优良二极管产生的泄漏电流将小于或等于指定的漏电流最大值。

## 测试系统配置

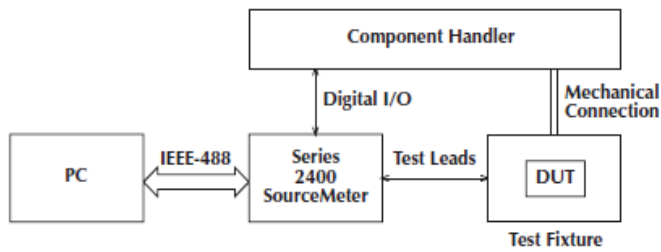


图2. 基于数字源表的二极管生产测试方框图

二极管或二极管封装置于测试夹具中，并连接至数据源表的输入端。为了防止生成不需要的电流，使用的测试夹具将保护二极管免遭光线照射。数字源表采用IEEE-488总线进行控制，它提供电源并对二极管进行测试。然后，将这些测量结果与仪器中预先指定的限度进行比较，并作出通过/失败决定。

来自数字源表数字I/O端口的输出信号用于与分拣机的接口，以启动二极管方向和/或分色。仪表配备了4个数字输出线，可以利用可编程仪器标准命令(SCPI)对线路进行配置。每个数字输出代码都传递一条消息，如“器件良好”、“器件劣质”、“转动器件”等。数字源表能够与器件分拣机直接接口，这使得在分拣机控制操作期间计算机可以“忙里偷闲”，可以下载并存储测试数据，与此同时，测试夹具则放置新的二极管或二极管封装。从吉利时公司网站获得的示例程序包括了这些特性。

下面介绍在三种不同情况下对二极管进行测试的三个算法，具体视分拣机能力和二极管封装而定。

### 二极管极性已知

在功能测试之前，在二极管极性未知情况下，为了进行测量，基于2400型数字源表的二极管生产测试系统如何操作，请见以下算法说明。

1. 操作人员指示PC：二极管产品批次已经就位，并做好测试准备。
2. PC通过IEEE总线启动2400型数字源表操作。(参见后面的IEEE总线操作。)
3. 2400型数字源表等待来自分拣机的“测试开始”触发信号。
4. 当第一只二极管就位后，分拣机向2400型数字源表发送“测试开始”触发信号，表明第一只二极管已经做好测试准备。
5. 2400型数字源表按照源内存中已经存入的顺序，对二极管进行功能测试，做出通过/失败的决定，并保存每次测试的数据：前向电压测试、击穿电压测试以及漏电流测试。
6. 400型数字源表向分拣机发送全部通过/失败代码以及“测试结束”信号，并向PC机发送测试数据(并行操作)。
7. 对于批次中的剩余二极管，重复上面的3~6步骤。
8. 2400型数字源表返回至空闲状态。操作人员在分拣机中加入新的二极管批次。
9. 重复上面的1~8步骤。

### 二极管极性/方向未知——器件分拣机可以转动器件

在功能测试之前且分拣机可以转动二极管(头尾互换位置)，在二极管极性未知情况下，为了进行测量，基于2400型数字源表的二极管生产测试系统如何操作，请见以下算法说明。

1. 操作人员指示PC：二极管产品批次已经就位，并做好测试准备。
2. PC通过IEEE总线启动2400型数字源表操作。(参见后面的IEEE总线操作。)
3. 2400型数字源表等待来自分拣机的“测试开始”触发信号。
4. 当第一只二极管就位后，分拣机向2400型数字源表发送“测试开始”触发信号，表明第一只二极管已经做好测试准备。
5. 2400型数字源表进行二极管极性测试。经测试，如果二极管处于正向极性，那么2400型数字源表执行功能测试(步骤6)。如果二极管处于反向极性，则向分拣机发送信号——转动器件，并返回至步骤4。
6. 一旦二极管处于正向极性，2400型数字源表按照源内存中已经存入的顺序，对二极管进行功能测试，做出通过/失败的决定，并保存每次测试的数据：前向电压测试、击穿电压测试以及漏电流测试。
7. 2400型数字源表向分拣机发送全部通过/失败代码以及“测试结束”信号，并向PC机发送测试数据(并行操作)。
8. 对于批次中的剩余二极管，重复上面的3~7步骤。
9. 2400型数字源表返回至空闲状态。操作人员在分拣机中加入新的二极管批次。
10. 根据需要，重复1~9步骤。

### 二极管极性/方向未知——器件分拣机不能转动器件

在功能测试之前且分拣机不能转动待测器件，在二极管极性未知情况下，为了进行测量，二极管生产测试系统如何操作，请见以下算法说明。这个算法与前面的算法有所不同。

1. 操作人员指示PC：二极管产品批次已经就位，并做好测试准备。
2. PC通过IEEE总线启动2400型数字源表操作。(参见后面的IEEE总线操作。)
3. 2400型数字源表等待来自分拣机的“测试开始”触发信号。
4. 当第一只二极管就位后，分拣机向2400型数字源表发送“测试开始”触发信号，表明第一只二极管已经做好测试准备。
5. 2400型数字源表进行二极管极性测试。经测试，如果二极管处于正向极性，那么2400型数字源表使用正向

极性参数执行功能测试(步骤6a)。如果二极管处于反向极性,那么2400型数字源表使用反向极性参数执行功能测试(步骤6b)。

6a. 2400型数字源表按照源内存中已经存入的顺序,对二极管进行正向极性功能测试,做出通过/失败的决定,并保存每次测试的数据:前向电压测试、击穿电压测试以及漏电流测试。

6b. 2400型数字源表按照源内存中已经存入的顺序,对二极管进行反向极性功能测试,做出通过/失败的决定,并保存每次测试的数据:前向电压测试、击穿电压测试以及漏电流测试。

7. 2400型数字源表向分拣机发送全部通过/失败代码以及“测试结束”信号,并向PC机发送测试数据(并行操作)。
8. 对于批次中的剩余二极管,重复上面的3~7步骤。
9. 2400型数字源表返回至空闲状态。操作人员在分拣机中加入新的二极管批次。
10. 根据需要,重复1~9步骤。

## IEEE-488总线操作

这里给出编写建立和执行二极管功能测试程序时的一些常用指南。如同这个一般程序所标明的,每个测试建立程序都存储在源存储单元(SML)中。在2400数字源表的每个源存储单元中,源存储清单允许存储高达100个测试建立程序(如果必须确定极性时,最多存储49个测试建立程序)。通过IEEE总线发送触发信号,就可以以各种顺序执行这些测试。这些仪器步骤通过源存储单元,不需要计算机干预,因此,可以节省IEEE总线时间,并提高系统吞吐量。

下面的编程指南假设不需要极性测试。极性测试遵循另外的指南。

1. 对GPIB和2400型数据源表进行初始化。
2. 设置2400型数据源表参数,对所有测试都是一样的(如自动归零、数据格式等)。
3. 定义正向电压测试。
  - a) 命令2400型数字源表指定源电流:设置电流源范围、数值和延迟。
  - b) 命令2400型数字源表指定测量电压:设置测量范围和一致性。
  - c) 为每个通过/失败结果设置限定值和数字输出位模式。
  - d) 在源存储单元#1中保存正向电压测试配置。
4. 定义击穿电压测试。
  - a) 命令2400型数字源表指定源电流:设置电流源范围、数值和延迟。
  - b) 命令2400型数字源表指定测量电压:设置测量范围和标准。
  - c) 为每个通过/失败结果设置限定值和数字输出位模式。
  - d) 在源存储单元#2中保存击穿电压测试。

## 5. 定义漏电流测试

- a) 命令2400型数字源表指定源电压:设置电压源范围、数值和延迟。
- b) 命令2400型数字源表指定测量电流:设置测量范围和标准。
- c) 为每个通过/失败结果设置限定值和数字输出位模式。
- d) 在源存储单元#3中保存漏电流测试。

1. 为分拣机接口设置触发器模型。
2. 启动测试。
3. 存储数据。

在吉时利公司网站可以得到说明这个过程的示例程序。欲了解如何获得副本的信息,请参见“示例程序”部分。

在功能测试之前完成极性测试需要对程序进行一定的修改,并在前面所列的基本指南中增加一些内容。如前所述,具体的程序修改取决于所用的分拣机种类。不过,不论是哪种情况,都可以使用数字源表源存储清单的分支能力,将极性测试与随后的功能测试进行集成。

这个能力允许用户对仪器进行编程,从而根据前一次测试结果,执行存储在源内存中的不同测试顺序。在这个例子中,将以不同方式执行功能测试程序,具体取决于最初的极性测试结果。

在这些测试情境中使用的另一个数字源表特性是一致性限度测试。对于极性测试,仪器的一致数值设定在能够表明二极管击穿电压和限定1被激活的水平,从而可以根据电压输入是否达到该一致性设定来设置通过/失败条件。利用该技术,不需要进行实际电压测量,就可以确定二极管极性,因此提高了测试吞吐量。

下面给出需要极性测试时的编程指南。在吉时利公司网站可以得到演示这些指南如何实现的示例程序。

## 能够转动二极管的分拣机

这个配置中的IEEE总线操作类似于对极性已知二极管进行测试中的操作,只是额外源存储单元(SML)和分支使用有所不同。

- SML 1包含极性测试,它是反向电压测试,如果二极管击穿则通过(也就是,达到一致性设置),表明正向极性。Limit 1是当数据源表不一致时为失败设置的。
- 当二极管必须转动以纠正其极性时,数据源表的四条数字输出线路中的一条线路用于分拣机显示。
- SML 2、SML 3和SML 4被指派为模拟测试位置,只需要增加源存储和触发计数器。只有当遇到反向极性二极管时,也就是,SML 1(极性)测试导致失败条件时,这些源存储单元才运行。
- SML 20、SML 21和SML 22(或者任何其他三个连续的源存储单元位置)保持前向电压、击穿电压和漏电流的功能测试,当SML 1(极性)测试导致通过条件时,这些源存储单元才运行。

## 不能转动二极管的分拣机

这个配置中的IEEE总线操作类似于对极性已知二极管进行测试中的操作，只是额外源存储单元（SML）和分支使用有所不同。不过，在结构以及数字I/O使用方面，它与前面的程序稍微有所不同。

- SML 1包含极性测试，它是反向电压测试，如果二极管没被击穿则通过(仪器没有达到一致性设置)，表明正向极性。Limit 1是当数据源表一致时为失败设置的。
- SML 2、SML 3和SML 4用于存储反向极性二极管的功能测试设置，当SML 1测试导致失败条件时，这些源存储单元才运行。
- SML 20、SML 21和SML 22（或者任何其他三个连续的源存储单元位置）保持正向极性二极管的功能测试设置，当SML 1测试结果导致通过条件时，这些源存储单元才运行。

### 开关复式二极管

对于二极管阵列或多模封装，需要开关将单一源-测量仪表与每个独立要素进行连接。**图3**给出二极管开关系统测试配置的一个例子。实际上，可以为任意数量的二极管以及各种不同电气性能指标配置实际系统。

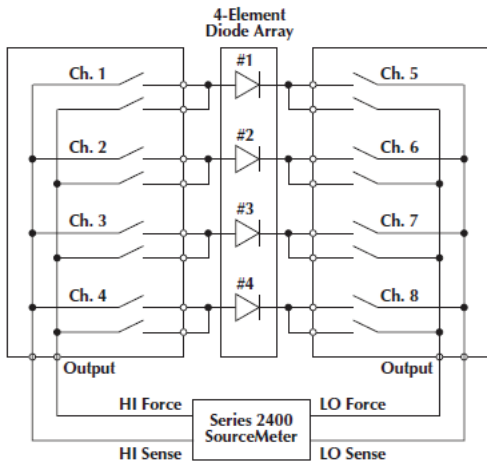


图3. 开关复式二极管与2400系列数字源表的连接

注意，这里使用两个双极继电器将每个二极管与数据源表连接。这样做的目的是消除开关和引线电阻电压降带来的误差。在测量前向电压时，这是特别重要的，因为测得的电压相对小(毫伏级)，而且源电流相对大(毫安)。

为了测量二极管#1的前向电压，选择通道1和通道5，施加指定的电流，并测量电压降。接着，对二极管#1进行击穿和漏电流测试，然后打开通道1和通道5。关闭通道2和通道6，开始对二极管#2进行测试。对所有二极管，重复这个程序。

### 常见误差来源

#### 引线电阻

电压测量误差的常见来源是从仪表到二极管之间的测试引线的串联电阻。当采用两线连接时，这个串联电阻添加到测量中(参见**图4**)。当连接线缆较长且使用的电流较大时，引线电阻的后果特别有害，因为同测得的电压相比，引线电阻产生的电压降比较大。

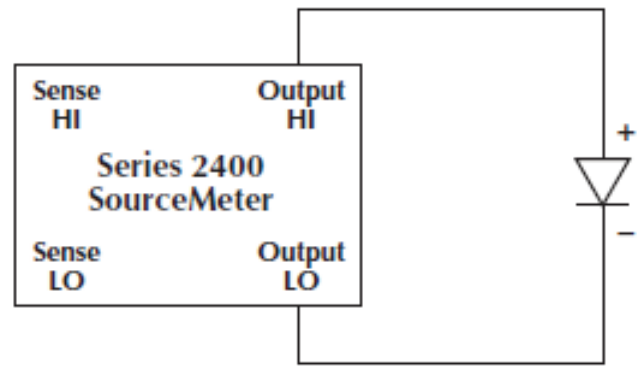


图4. 双线连接

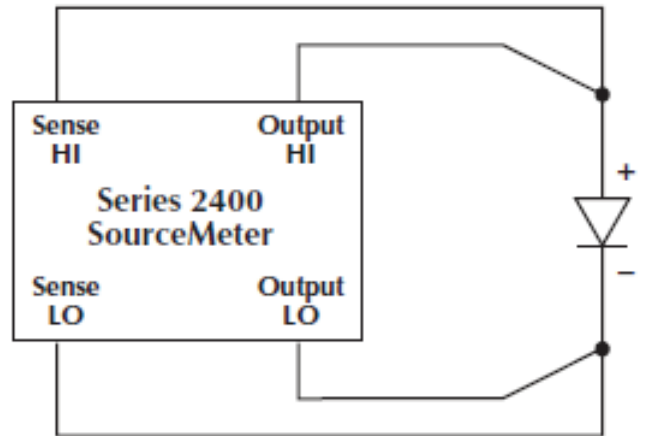


图5. 四线连接

为了避免这个问题，使用四线遥控测量方法而不采用两线技术。利用四线方法(**图5**)，使用一对引线迫使电流通过二极管，并通过另一对引线测量二极管电压降。因此，测得的结果只是二极管的电压降。

#### 漏电流

在进行较小的电流(如漏电流)测量时，线缆和夹具中的寄生泄漏可能成为误差的一个来源。为了使这个问题的影响最小化，在建造测试夹具时要使用高阻抗材料。

减少漏电流的另一种方法是使用数字源表的内置保护装置。该保护装置是电路中的一个低阻抗点，与被保护的高阻抗点几乎具有相同的电势。**图6**中的实例给出了最好的说明。

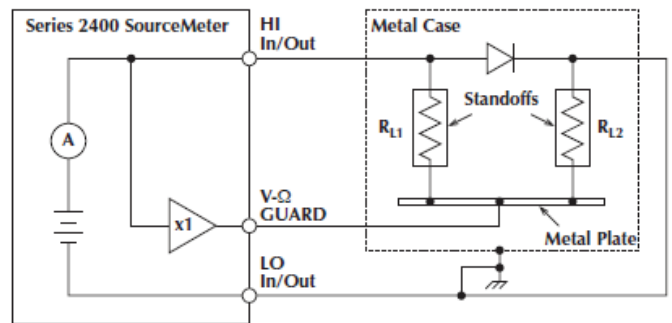


图6. 2400系列数字源表保护技术

在这个例子中，待测二极管安装在两个绝缘连接器上( $R_1$ )。在这个电路中使用保护装置，确保所有电流流经二极管而不通过连接器。通常，当电流源或测量电流低于 $1\mu\text{A}$ 时使用线缆保护装置。将仪表的V- $\Omega$ 保护端与金属板相连，就可以对该电路起到保护作用。这使得 $R_{L1}$ 绝缘体的底部与顶部几乎处于同一电势。由于绝缘体的两端几乎处于同一电势，几乎没有电流流经绝缘体。因此，如同预期一样，所有电流都将流经二极管。

**警告:**保护装置与HI输出端处于同一电势。因此，如果在HI输出端出现危险电压，那么也将在保护装置端口出现危险电压。

## 静电干扰

高电阻测量可能受到静电干扰的影响，当带电物体靠近不带电物体时，会产生静电干扰现象。为了降低静电场效应，可以建立屏蔽层，对待测电路进行保护。如图6所示，金属屏蔽层与待测二极管周围接地点相连。为了避免因公共模式以及其他干扰引起的噪声，数据源表的LO输入/输出端必须与金属屏蔽层相连。这也起到安全屏蔽作用，因为金属板处于保护电势。

## 设备清单

为了装配二极管生产测试系统并运行从吉时利公式网站下载的示例程序，需要以下设备：

1. 吉时利2400、2410或2420型数字源表，包含或不包含接触检测选择
2. PC机，含KPC-488.2接口卡
3. 器件分拣机，包含测试夹具
4. 吉时利7007 IEEE-488接口线缆
5. 定制的DB-9 I/O分拣机接口线缆，用于实现仪器数字I/O与分拣机的接口
6. 测试引线，用于连接仪器与测试夹具

## 示例程序

为了演示本文中说明的技术，吉时利公司开发了3个示例程序。第一个程序对5个极性已知的1N914开关二极管进行前向电压、击穿电压和漏电流测试。测试结束后，生成输出报告，给出测试电压、电流以及通过/失败状态。注意，根据使用的分拣机的类型及其定时要求，可能需要对这个程序进行修改。

第二个和第三个程序说明在两种介绍的情景下进行二极管极性测试所需的SCPI命令。需要根据所用分拣机的功能，从这两个方案中做出选择。

为了获得有关示例程序的数字文档，请访问吉时利公司网站(<http://www.keithley.com>)。

技术规格如有变更，恕不另行通知。  
所有吉时利商标和商品名是吉时利公司的财产。  
所有其它商标和商品名是其各自公司的财产。



美国吉时利仪器公司

全国免费电话：400-650-1334/800-810-1334

邮箱：china@keithley.com

网址：www.keithley.com.cn