

利用万用表对 IGBT 模块判别的误区

编写：陈浩 审阅：Norman Day

前言：

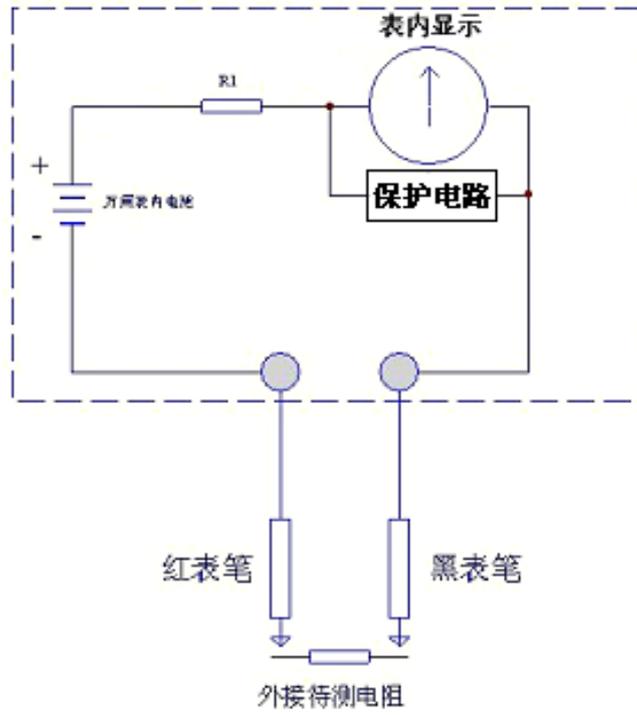
对于装有 IGBT 模块的系统出现异常或损坏时，如何才能快速地判断系统中的模块是否正常？一般客户首先选用的是万用表判定，但在使用万用表的判定过程中，很多客户往往没有准确可行的方法，甚至存在着一定的误区。一般人往往会利用万用表的一些测试数据做为一个判定标准，去判断同个模块或不同模块的好坏，但是这种判断是不可取的，不同万用表的测试原理存在着一定的差异，而且即便是同一块万用表，由于其测试精度的限制，也会造成一定的误差。

本文就从介绍万用表部分测量功能的原理入手，进一步说明在利用万用表对 IGBT 模块好坏判别时的误区。

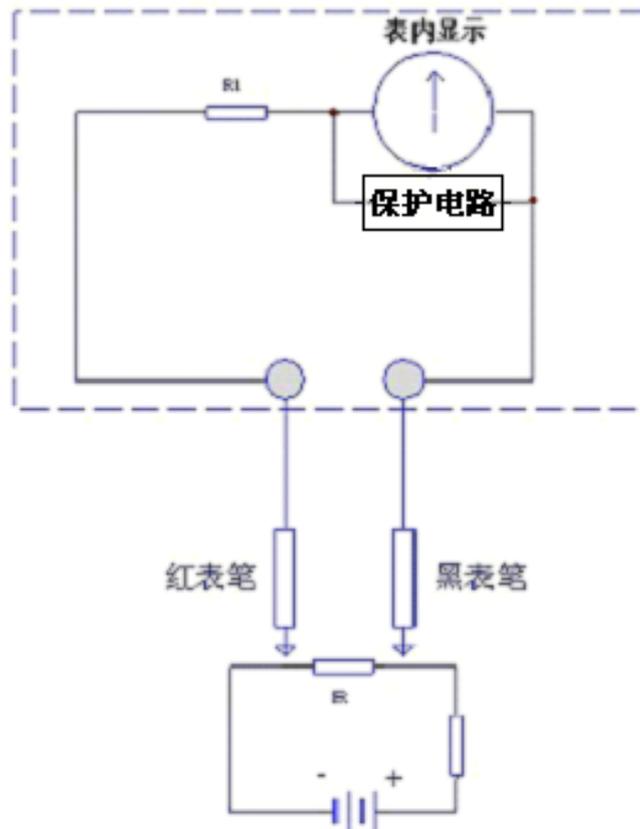
万用表测量简介：

万用表的测量档有传统的电压档、电流档、电阻档等，如今的数字万用表还包括鸣蜂档、二级管档，三极管档、电容档、温度档等。下面主要从常用的电阻档、电压档、二极管档和电容档出发，简要介绍下各档的测试原理：

电阻档：一般常见到手持万用表测试电阻大部分是万用表输出一个电压源为测试电路电源，通过对内部电路中的电流测量来确认外接阻值，如图一为简化示意图。R1 是表内阻抗的总和，为可变电阻，作用是调节测试范围，一般能调节到几个固定内部阻抗。假设表内电源电压为 U ，电流为 I ，外接待测电阻为 R ，那么 $R = \frac{U}{I} - R1$ 。由于 R1 的可调最小阻抗是固定的，所以当外接待测电阻 R 小于某一值时，表内电流 I 就会超过其最大值，而使待测量的数值不具参考意义。同样的，当电阻大到一定程度时，也会产生同样的问题。所以当表内阻抗 R1 固定时，表内电流检测装置的精度决定了电阻档的检测精度，表内电流检测装置电流检测范围决定了电阻档的检测范围。



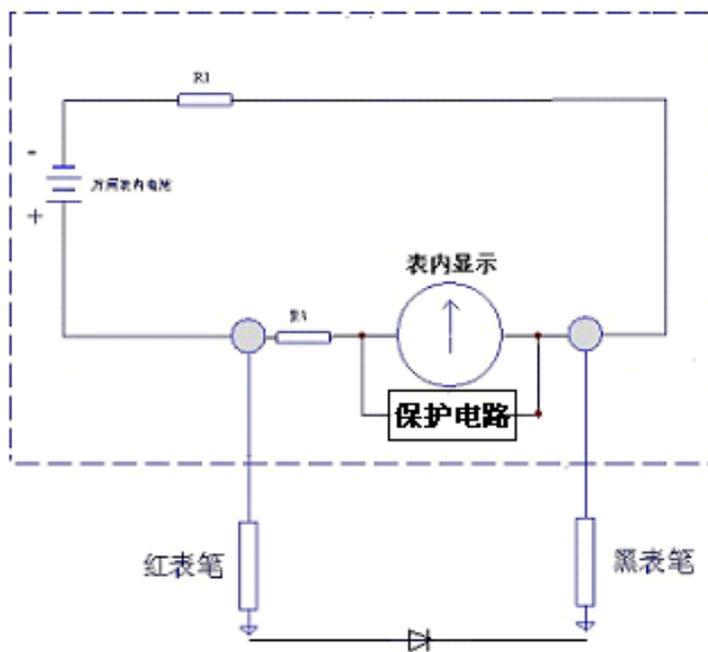
图一 万用表电阻测试示意图



图二 万用表电压测试示意图



电压档：一般常见到手持万用表测量电压是通过内部电阻与测试回路并联，通过测试内部回路中的电流换算得出，如图二为简化示意图。R1 是万用表的内部等效阻抗，其值比较大，一般数字万用表有 10MΩ 左右，作用是消除测量时的负载效应。假设表内测试电路中的电流为 I，所测试电压为 U，那么 $U=I \times R1$ 。但是上述公式成立是有条件的，如果假设测量电路中的等效阻抗为 R，R1 必须远远大于 R。所以在万用表设计时，内部等效阻抗越大就能越好的避免负载效应，但是受内部电流测试设备最小测试精度的限制，各种万用表内部等效阻抗都存在一定的差异。测量时必须考虑万用表内阻阻抗的大小。当测量电路中的等效电阻 R 与万用表内阻 R1 接近、相同或大于万用表内阻时，会引起原被测电路中分压的变化，最终导致测试结果无效。当万用表的测试电压过高时，万用表内部的电流测试设备因电流过高而形成保护，故一般万用表都标有相应的测试上限值。

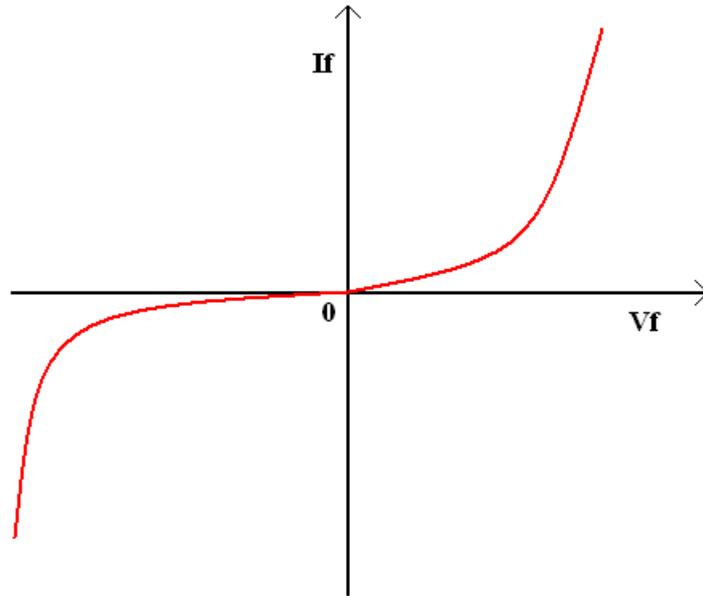


图三 万用表二极管测试示意图

二极管档：一般常见到手持万用表二极管档测试主要是内部电阻 R2 上电流的测定来换算二极管的 V_F ，如图三为简化示意图。R1、R2 均为表内电阻，R2 远远大于 R1，假设表内电源电压为 U，二极管压降为 V_F ，表内电流测试表电流为 I，那么当测试二极管时， $V_F=I \times R2$ 。假设流过 R1 的电流为 $I1$ ，忽略负载效应，流过 R1 的电流 $I1$ 与流过二极管的电流 I_f 相等，那么 V_F 必然满足 $V_F=U-I1 \times R1=U-I_f \times R1$ 。而 V_F 和 I_f 必然二极管特性曲线，如图四，所以不同二极

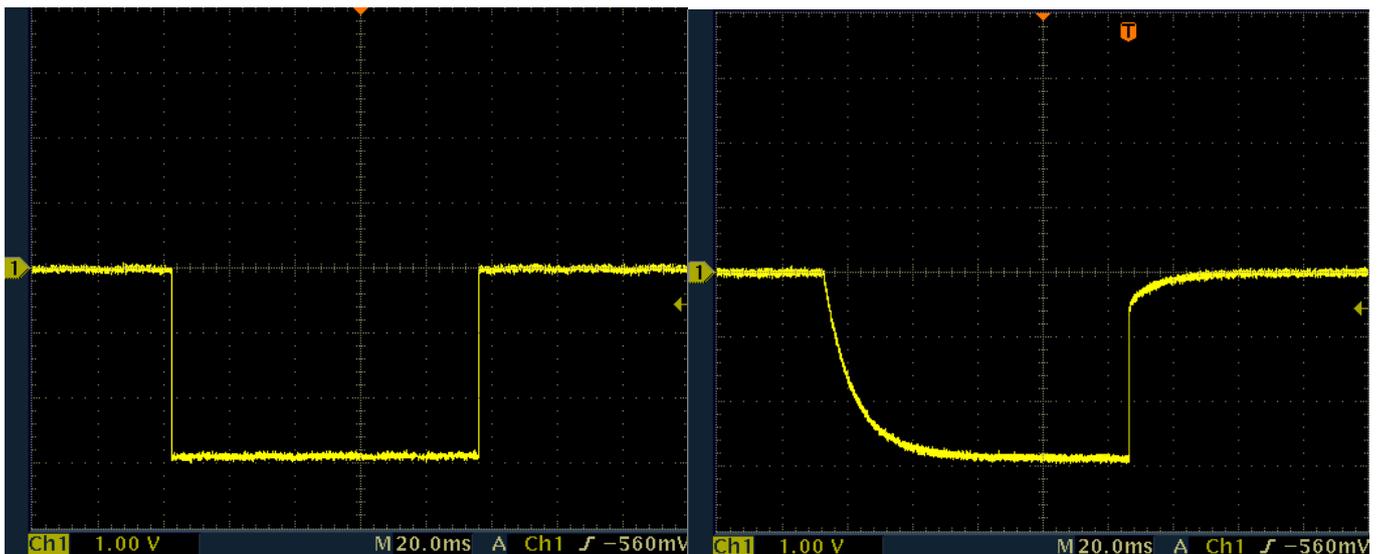


管的特性曲线不同也会造成 V_F 的不同，即使相同型号的二极管，其特性曲线的差异也会造成 V_F 的微小差异。



图四 二极管特性曲线

电容档：一般只有部分数字万用表才有电容测试档，而且测试方法也是多样化的，如通过充放电的时间来测量的，其主要原理是通过一个 RC 电路，假设电路中的供电电源为 U ，电容两端的电压为 V_c ，那么 $V_c=U(1-e^{-t/RC})$ ，通过对充电时间 t 的测量来换算 C 的值，实际测试波形如图五。



加电容前

加电容后

图五 示波器测试万用表测试电容前后波形图



测量操作误区：

一般而言，利用万用表电阻档测量是最广泛的操作方式之一。但根据我司在客户端了解的信息，部分客户以测量模块内各个 IGBT 管相的发射极—集电极之间的阻抗为判定依据之一。测试时，万用表红表笔接发射极，黑表笔接集电极，读取阻抗值。但是电阻档测试时电流较小，而二极管半导体材料的非线性特性使微弱电流工作的工作点容易落在 PN 结伏安特性曲线的弯曲区域，所以用电阻档测二极管本来就是种错误的选择，故不建议此种操作。如果条件允许的话，建议使用二极管档测量发射极—集电极之间的压降。测试接法与上相同，但是客户在此测试中往往会形成一个误区，二极管压降 V_f 是恒定的。根据万用表测量简介所述， I_f 决定了 V_f 的大小，故如上文介绍的原理，当不同万用表测试电路中的电阻和电压存在一定的差异，那么会导致结果的差异，所以此测试值并不能与其他万用表做对比，更不能代表数据手册上的数据，此值没有其他意义，只代表在此万用表的特性测试条件下的一个参数。不过此值可以简单判定二极管是否好坏。当然很多情况下，此值显示二极管短路并不完全代表二极管短路，也可以能是 IGBT 芯片短路。

对于电阻档真正比较有意义的测量是（一）测量模块内各个 IGBT 管相的集电极—发射极之间的阻值。万用表红表笔接集电极，黑表笔接发射极，正常模块电阻数值显示在兆欧级以上。（二）分别测量模块内各个 IGBT 管相门极—发射极（门极—集电极）之间的阻值。万用表量表笔分别接于门极和发射极（门极和集电极），正常模块阻值显示高阻抗。如上文万用表测量简介中所述，受万用表测量范围的影响，对于上述高阻抗性的测量，部分万用表无法显示有效值。当然测试值为高阻抗时并不能完全代表模块是正常的。

上述两种操作方式对于失效模块的判定有一定的效果，但判定成功率不是很高。如果条件允许的话，结合电容档测量，那将一定效率的提高 IGBT 模块好坏的判断率。

首先，将万用表测量档调节至电容档，短路模块各项的集电极—发射极，分别测量模块内各个 IGBT 管相的门极—发射极之间的内部电容容值。万用表红表笔接门极，黑表笔接发射极，记录测量所得数据。然后，更换表笔，即黑表笔接门极，红表笔接发射极，记录测量所得数据（由于不同万用表的测试原



理不同，可能会造成上述两种测试方法的测试数值不一样)。最后，利用此数据与该万用表测试的模块其他 IGBT 管相或同产家、同型号模块的测量数据进行比较，数值应相同或相近。

测试时只建议测量门极—发射极之间的电容，如图二，IGBT 芯片中门极—发射极之间的电容 C_{ge} 是最大的， C_{ge} 远远大于 C_{gc} 和 C_{ce} ，而万用表对于电容的测试精度是有限的。当然，此处测试值与数据手册上相对应测试值测试条件完全不同，不能作为对比或参照。

曾有客户反馈，当模块在漏电流测试过程中，上下管的分压不均匀，其实不然，如同万用表测量简介中所描述的，模块在漏电流很小时，其芯片的阻抗是兆欧级的，与万用表内部阻抗相近，故此测量值是无效的。

总结：

通过对万用表部分测试功能原理的介绍，并对一些常见测试误区的描述，进一步说明了万用表的使用最好在了解万用表测试原理的情况下，如若不然，万用表的测试数据并不具有通用性，只能做为在一定前提下的参考依据。希望通过此文对于读者在运用万用表测试 IGBT 模块时有一定的帮助。