

是德科技

测试范围:

通过电路板测试时意味着什么?

Article Reprint

摘要

将电路板测试范围表示为拥有测试数据的器件或节点的百分比, 并不能精确地表达出它的含义, 这一点在包含各种测试方法(例如可视和穿透性测试、典型的在线测试)的受限接入测试环境中尤为适用。可以通过制定一个名为缺陷范围的潜在缺陷列表来更好地描述测试范围, 此时不必考虑所选测试策略的能力。根据缺陷范围对每个测试流程的能力进行分级可用于测量这一范围。对于大部分的电子行业, 缺陷范围的定义具有实用意义, 并且为范围测量标准和对比提供一个始终如一的框架。

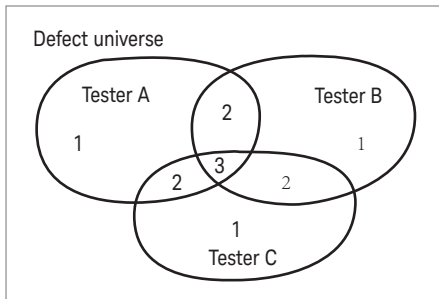


图 1: 缺陷范围的维恩图, 显示了 3 种不同测试技术可能重叠的部分, 以及可测试给定缺陷的测试仪器数量。

2002 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

Article Reprint by:

Kathy Hird,
Keysight Technologies, Loveland, CO

Kenneth P. Parker,
Keysight Technologies, Loveland, CO

Bill Follis,
Keysight Technologies, Loveland, CO

1 简介

在过去, 可用于测试电路板的在线测试 (ICT) 技术相对较少, 但是电路板具有“完全的”节点接入 (通常在 95-100% 之间)。这样, 通过记录具有有效测试结果的电路板器件所占的百分比, 可以从根本上测量测试范围。同样地, 可以通过可接入的节点来简单测量短路范围。

$$\text{器件范围} = \frac{\text{具有测试结果的器件数目}}{\text{器件总数}}$$

$$\text{短路范围} = \frac{\text{可接入的节点数目}}{\text{节点总数}}$$

这种范围计算方法存在一些很容易被接受的漏洞。例如, 通过模拟测量对普通电阻进行测试, 这被视为是较好的测试。采用手动导出的测试矢量对数字器件进行测试, 其中很多矢量会因为拓扑限制而被舍弃。这种测试效果有什么好? 没有证据表明这些矢量能够测试所有的器件。¹事实上, 根据对数以千计的真实电路板(参见 [Schl87]) 进行研究已经表明, 已经顺利通过的测试并不能保证电路板的完好性。其他的测试范围漏洞示例包括:

- 电子测试方法 [Tege96] 无法检测到的冗余电源和接地引脚。
- 电子测试方法无法检测到的并联旁路电容。
- 采用非加电开路测试 [Park96] 和边界扫描 [IEEE01] 等测试技术测试虚焊点。

在过去的十年里, 受限接入电路板和受限接入测试技术先后产生, 它们旨在恢复因接入点匮乏而造成的范围损失。如今的电路板具有更高的接入限制, 预计小于 <20% 接入的电路板已很常见。

最终, 基于可视和穿透性检测 (AOI² 和 AXI³) 的全新测试方法已经出现。没有一种方法可以满足所有的测试需求, 所以需要考虑测试技术之间的结合应用(如图 1 所示)。这也需要重新研究测试范围的测量方式。

1 有时, 可以通过对数字输入的固定性缺陷进行硬件仿真并查看测试是否会失败来解决此问题。只有在“标准”电路板可用之后方可完成这一耗时的过程。

2 自动光学检测, 一种使用可见光的工具。

3 自动 X 射线检测, 一种使用 x 射线辐射的工具。

2 基本定义

2.1 缺陷和缺陷范围

缺陷是不被接受的偏差,属于一种多余的存在,需要采取补救措施(例如丢弃电路板或修复电路板)。以下为缺陷的部分示例:

- 虚焊点。
- 焊点焊锡过量、焊锡不足或焊锡缺陷。此缺陷不会有电气显示。
- 焊锡过量、引脚弯曲、器件错误配准导致的短路。
- 失效器件。例如,ESD 受损的 IC 或破裂的电阻器。
- 器件的错误放置。
- 遗漏器件。
- 极性器件旋转 180 度。
- 器件错位(通常为横向位移)

通过检查电路板的结构信息(通常是材料清单、网表和 XY 位置数据)可将所有缺陷一一列举。这些列举集合称为缺陷范围。请注意,在制定缺陷列表时不会考虑如何进行测试。这些列举与以往的惯例不同,以往只会考虑目标测试系统的功能,就好像未经测试的缺陷并不存在一样。

在提出缺陷范围后,便可以假定缺陷未包含在此列举集合中。其目的在于为大部分电子行业定义一个具有实用意义的缺陷范围,并为范围测量标准和对比提供一个始终如一的框架。

2.2 测试

测试是一种复杂性不定的实验,如果器件(或器件组)的被测属性和相关连接可以完全接受,则测试通过;如果有任何被测属性不可接受,则测试失败。通过简单的测试便可测量单个电阻器的值。复杂的测试能够测试具备上千种连接的多个器件。典型的电路板测试由许多简单和复杂的测试组成,总体的测试意图是尽可能地检测出潜在的缺陷。这也成为电路板测试范围(参见第 4 节)。

首先,询问“测试失败时意味着什么”这一问题看似理所应当,但是这个问题经常会受到与未预期缺陷或者测试自身可靠性之间交互作用的影响。例如,通过在线测试对一个简单的数字器件进行测试时,可能有多个因素导致测试失败。这些因素有:器件错误、一个或多个引脚上有虚焊点、器件失效、某一上游器件由于存在缺陷而未被恰当禁用。

因此,询问“测试通过时意味着什么?”这一问题要更有意义。例如,如果一个简单的普通电阻器测量顺利完成,我们由此可知这个电阻器必然存在且运作正常,它的值处于正确的阻值范围内,它的连接没有出现开路或短路。

3 电路板测试范围

电路板测试范围(或简称为“范围”)可定义为测试质量的数字化指标。这一概念在最高层面可以细分为器件范围和连接范围,因而形成两种电路板测试方法。

3.1 基本属性与定性属性

器件范围与连接范围各自细分为两组属性:基本与定性。基本属性会直接影响电路板的正常工作。定性属性不会直接或间接影响到电路板的工作,但能够在一段时间后产生此类影响(潜在缺陷),或者可以预示应当尽早解决的制造流程问题以免对基本属性产生不利影响。

所有属性均应判断为“未测试”、“部分测试”或“完全测试”。在未测试状态,我们对属性一无所知。在部分测试状态,我们对属性的存在一知半解。在完全测试状态,我们对属性了如指掌。

3.2 器件范围

器件是指放置在电路板上的任何元器件,例如无源器件(电阻器、电感器等)、IC、连接器、散热器、机械提取器、条形码标签、RFI 屏蔽装置、MCM、电阻包等。从根本上讲,器件可以是材料清单上的任意元器件。请注意,范围不包含 MCM 或电阻包的内部元件。另外还引入了“无形器件”的概念(参见第 4.4 节),用以覆盖 FLASH 或 CPLD 下载和器件集群的功能测试等条目。

3.2.1 器件的基本属性

器件最基本的属性是存在性, 然后有正确属性、定向属性和活动属性。存在性非常关键, 这是因为如果器件本身不存在, 那么其他三个属性便无法测量。

存在性

通过测试可以确定一个器件是否存在。请注意: 这种测试结果并不能表示器件是正确的, 只能表示有器件存在。例如, 电阻器测试通过测量电阻值可以验证电阻的存在性, 但是无法通过这个电阻值确定该电阻是炭质电阻还是线绕电阻, 10 瓦特或 0.1 瓦特。此差异会影响电路板性能。

在不能完全确定器件是否存在时, 存在性测试可归类为“部分测试”。例如, 连接 VCC 和数字输入引脚的上拉电阻器。边界扫描测试可以证明引脚保持高电平, 但由于在引脚开路 and 浮动时也会出现这种状况, 因此我们不能完全确定是否存在电阻器。

由于受到正在加载的选件影响, 在验证器件不存在时会产生不一样的结果。这不是一个新属性, 而只是关于存在性的一种解释: 当器件存在时, 测试会失败。因此, 测试通过表明该器件不存在, 但这仍然是一个存在属性。

正确

确定器件存在后, 可通过相关测试来确定该器件是否正确。例如, AOI 系统可以读取打印在器件上的 ID 号, 边界扫描测试可以读取 IC 内部的 32 位 ID 码。

在不确定正确性时, 正确性测试可归类为“部分测试”。再次以普通电阻器为例, 由于电阻器的类型多种多样, 即便是测得了正确的电阻值, 我们仍无法十分确定这是正确的器件。

定向

通过测试可以确定一个器件是否正确定向。在器件摆放时, 定向考虑的是进行多个 90 度旋转。例如, AOI 系统可寻找 IC 上的记录陷波。AXI 系统可寻找极性片状电容器的定向。ICT 系统可验证二极管的极性。(与 4.2.2 章节中的“调整”相比。)

活动

“活动”这一概念(同义词:“活跃”)的使用相对有限。“活跃”并不意味着器件的所有操作和性能特征业已验证, 而是表示器件能充分发挥其功能。例如, 如果器件通过了边界扫描互连测试, 那么它肯定处于合理的活跃状态(TAP 良好、TAP 控制器工作、I/O 引脚工作)。如果 7400 四与非门中的一个与非门通过测试, 那么 IC 被评定为“活动”。如果成功测量了一个电阻器的值, 我们可以认为该电阻器处于活跃状态且未发生破裂、内部短路或开路。

3.2.2 器件的定性属性

我们只确定一个器件定性属性——调整。器件可旋转一定度数(不要与定向相混淆, 以 90 度的倍数旋转), 横向移动一小段距离, 或采用“贴板”方式移动(器件的侧面焊接到电路板, 而非与电路板平齐)。这种位移不会导致电气故障, 但有可能出现流程问题变质或存在潜在的可靠性问题。

我们使用术语“PCOLA”来表示器件属性的“存在性”、“正确”、“定向”、“活动”和“调整”。

3.3 连接范围

连接(通常)是指器件与电路板建立电气连接的方式。器件引脚与电路板节点垫焊点之间形成连接。(即使器件具有引线、触球、接线柱或其他可提供连通性的接触点, 也可以使用“引脚”一词。)连接通常包含焊点连接和压接型连接。器件与电路板之间存在零个或多个连接。例如, 电阻器有两个连接, IC 有数百个连接, 而散热器可能没有连接。

光敏感器件与光子连接器或电缆之间的光子连接属于特例。尽管它不属于电气连接, 但是可用于传输信号。通过光纤电缆将光电发射机与接收机连接起来构成电路板, 我们可以看到电路板上的光信号路径。电缆可以是一个器件, 器件的两端均有连接。这类连接易受开路的影响。在这种情形下, 除非将电缆固定到错误的连接器, 否则不会出现短路。

3.3.1 连接的基本属性

连接的基本属性是指电路板的一个或多个引脚或通孔是否处于开路(无连通性)或短路(不需要的连通性)状态。良好的连接既不会开路也不会短路。此时,我们假设在安装有用器件之前已经确定裸电路板的性能良好。因此在放置器件时,电路板内部不会存在节点迹线缺陷(短路和开路、不恰当的特征阻抗等定性条目)。

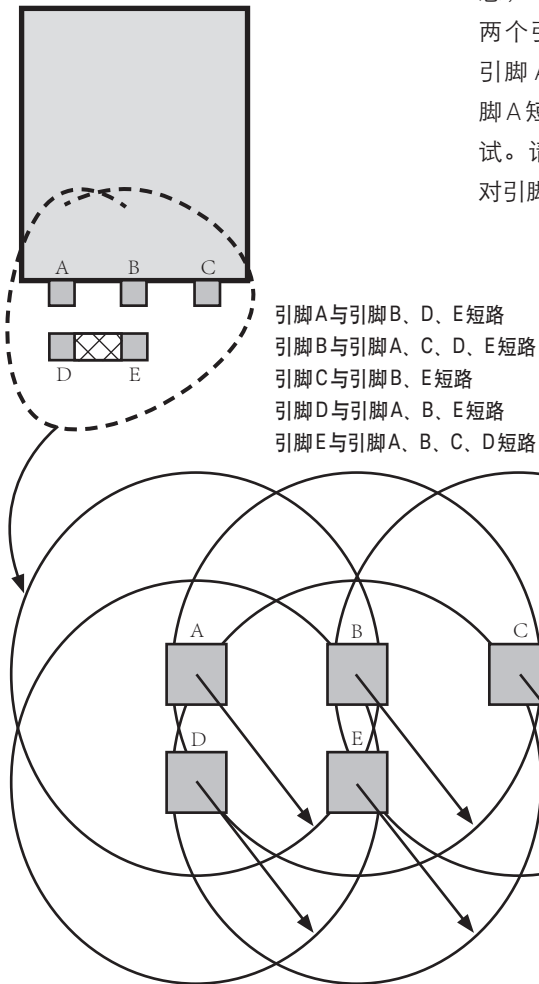


图2: 两个器件上包含五个引脚, 显示了引脚在给定短路半径中的短路属性。

短路

造成短路的主要原因是附件的缺陷,通常是指引脚弯曲和焊锡过量。这会导致邻近型号的短路。如果两个引脚位于一个特定的“短路半径”范围内,则它们可能会出现不当连接。我们将此类引脚添加至潜在短路集合中,属于测试范围的一部分。(参见图2。)已知各个引脚的XY轴位置和器件所驻留的边侧(上部或下部),以及是表面封装还是通孔等信息,可以实现理想的短路集合。短路是两个引脚的交换属性。也就是说,如果引脚A对引脚B短路,则引脚B也对引脚A短路。两个引脚之间只需进行一次测试。请注意:对引脚A短路的引脚列表和对引脚B短路的引脚列表各不相同。

短路半径中的两个引脚可通过电路板版图连接至相同的节点,它们之间的过量焊锡和弯曲引脚为电气不可见。但依照点计方法,这仍然属于必须覆盖的潜在短路情况。显然,这种情况仅能通过某些检查才能看到,它虽然(通常)不会造成电气损害,但有可能产生流程问题。

在过去,电气测试仪可以完全通过节点接入,短路测试仪针对每个节点的电气独立性进行测试(相对于所有其他节点)。4 它没有考虑物理相邻性,因而会测出许多实际上不可能存在的潜在短路。现如今,电气接入受到了严格限制,可以采用许多新颖的、完善的电气技术来检测短路。每一种技术均可以处理电路板节点的部分子集,并且这些子集之间通常没有交集。由此引发了一个问题:这些测试覆盖了哪些使用邻近型号的潜在短路?在使用多种技术测试不相交节点集时,邻近型号支持我们测量短路范围。通过为每个被测的节点对进行计算,可以得出确切的结果(也需测试与这些节点相关的相邻引脚对)。

开路

当引脚不与其电路板节点垫焊点连接时,称之为开路条件。通常在形成开路后,节点和引脚之间会产生无限的直流阻抗。有一类“电阻”连接不属于真正的开路,而且电气不可见(在测试中)。这些归类为焊点的定性测量(参见下一节)。

3.3.2 连接的定性属性

连接的唯一定性属性是焊点质量或简称为“质量”。焊点质量包括定性测量, 例如焊锡过量、焊锡不足、沾锡不良、空隙等。通常此类缺陷不会造成开路或短路, 但会指出应当标记的流程问题。例如, 焊锡不足会导致产品使用后期出现虚焊。邻近IC 垫焊点上的焊锡过量会增加引脚间的电容, 从而损害它们的高速信号特征。沾锡不良或空隙会形成电阻连接。某些定性缺陷很难测出, 例如构造合理却已破裂的焊点。这种焊点拥有足够的欧姆接触来提供连通性, 但在遇到腐蚀或机械弯曲的情况时可能会失效。通常, 任何检测技术都查不出这个问题。

我们使用术语“SOQ”表示连接属性“短路”、“开路”和“质量”。

3.4 无形器件

电路板上的器件可能具备一些其他特性, 我们需要确保测试范围能够覆盖的到, 但这些特性本身可能不属于“被测属性”。例如, 电路板用户可能会要求FLASH RAM或CPLD 安装特定的下载比特。从客户的角度来看, 仅测试器件的PCOLA 和连接SOQ 还不够, 他们还希望确保下载比特的存在性和正确性。由于此类器件属性(下载的存在性与正确性)是无形的, 因此我们发明了“无形器件”这一概念, “无形器件”必须包含在范围计算中。无形器件通过新增多个活动与真实器件发生关联。在本例中, 活动是指

用于安装比特并确认其正确性的板上编程流程。确定后, 可将无形器件及其相关属性视为器件空间的一部分并计入测试范围内, 最后再分配权重(参见5.4.3)。再次以FLASH 下载为例, 假设我们要测试它的存在性与正确性。此时, 它的定向、活动以及SOQ 属性测量便失去了意义(权重定为零)。

3.5 范围详情

位于顶层的是器件和连接范围。向下一层, 每个范围由基本与定性因素组成。再往下是细分信息。每个器件拥有五个属性, 而每个节点拥有三个属性。另外, 由于一个引脚可能与若干个其他引脚相邻, 因此还可能包括一些潜在的短路。图3是上述结构图概要。

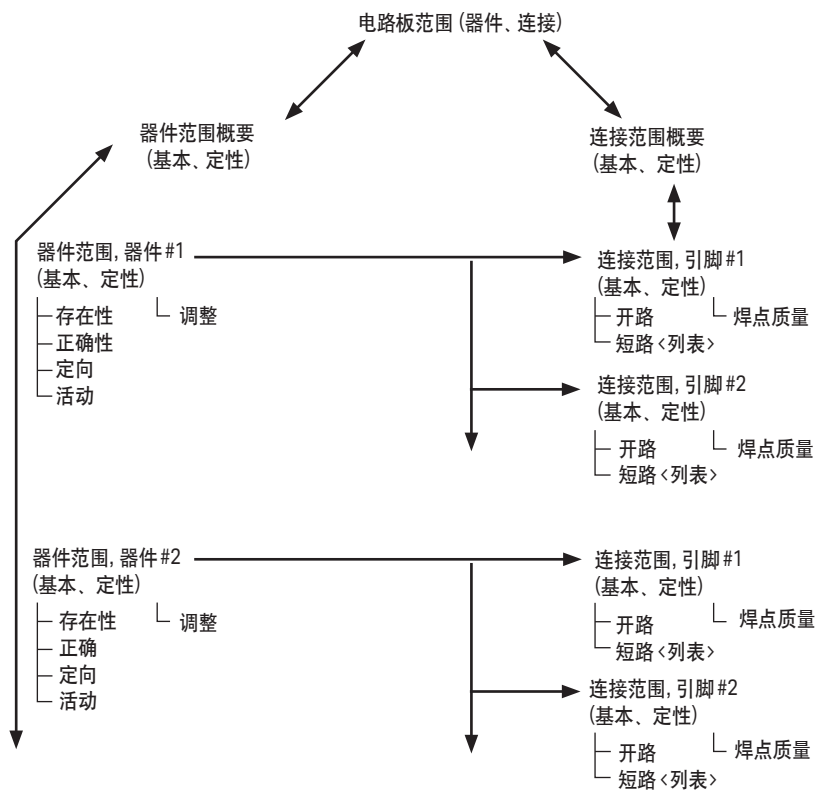


图3: 范围详情及其概要。

4 范围测量标准

4.1 测量对象

范围测量应当包括每个器件和连接的影响。这与过去的标准有所差异,过去是根据“什么可以测量”来确定测试范围。另外,器件或连接的每个属性均会对范围产生影响(除非是不相关的属性)。(例如,电阻器等非极性器件的定向便是一种不相关的属性。)只有在器件的存在性、定向、正确性、活动以及调整均接受测试,并且每个引脚的短路、开路和焊点质量全部经过测试之后,器件才算是通过了完全测试。这个标准较为苛刻。

4.2 标准尺度

要求对范围规定尺度,以便电路板彼此之间可以进行有意义的对比。如果一个大型电路板拥有数千个元器件和连接,则每个被测的器件和连接仅对范围产生极小的影响(稍后将讨论权重)。我们出于两个原因将范围(0-范围)选定为100,000。首先,这不是像过去所用的单个百分比值。其次,范围的每个因素不能太小(例如,远小于1)。

4.3 电路板记分

电路板记分由一对数字组成,第一个代表器件范围,第二个代表连接范围:BS=(BDS,BCS)。电路板使用一对数字来表示器件和连接记分,例如(76445,80991),每个数字都没有达到可能的100,000。理想的电路板范围记分应当是(100000,100000)。未经测试的电路板范围为(0,0)。

4.4 器件标准

我们希望累计每个器件测试的“记分”。例如,器件的存在性可能经过了多次测试。假设一个测试给出“部分测试”的分数,而另一个测试给出“全面测试”的分数。我们选取这两个记分的最大()函数,即“全面测试”。如果两个都是部分测试结果,则二者相加不会是满分。某些测试根本不会对特定属性评分。图4显示了如何通过两个测试覆盖一个器件。

5.4.1 器件属性权重

可以为器件的属性分配权重,以便区分不同属性的重要程度。可根据器件类型划分权重,如电阻器和IC。如果需要,可以单独(按器件)分配权重。

对于给定的器件类型,我们对PCOLA属性权重进行赋值,5个数字的总和必须为1.0。此权重分配对于其他器件类型可能有所不同。

同。例如,由于电阻器没有极性,所以它的定向权重为0.0。因此,它的剩余4个权重相对上升。但对于二极管来说,它的定向属性十分重要,因而情况正好相反。

表1显示了如何为ICT系统分配权重。请注意,为定性属性“调整”分配10%的权重。鉴于ICT无法测试调整,这就表明对于记分为100,000的板上器件来讲,ICT至多可以获得90,000。因此,需要通过目视测试(可能为AOI)确定剩余10,000的记分。

请注意,目视测试还能够获得存在性、正确性和定向的记分,但是与活动属性的记分无关。另请注意,基本属性的剩余权重(0.9)会根据定向的重要性均匀地分配给所有相关属性。对于类似于SMT电阻器的非极性对称器件,则不会给定向属性分配任何权重。对于其他器件,定向属性会分配有一定比例的权重。

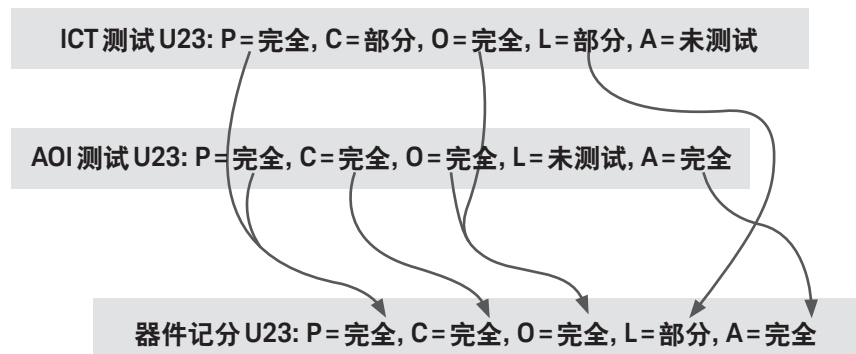


图4: 两个功能不同的测试所取得的器件属性范围记分。

4.4.2 器件属性记分

根据器件的 PCOLA 属性，测试可以标记为“未测试”、“部分测试”和“完全测试”。分别为其分配值 0、0.5 和 1.0。器件 d 的 PCOLA 器件属性分别记作 dps(P)、dps(C)、dps(O)、dps(L) 和 dps(A)。

对于器件 d，原始器件记分 RDS(d) 为：

$$\text{dps(P)} * \text{dpw(P)} + \text{dps(C)} * \text{dpw(C)} + \text{dps(O)} * \text{dpw(O)} + \text{dps(L)} * \text{dpw(L)} + \text{dps(A)} * \text{dpw(A)}$$

4.4.3 器件类型权重

可以为器件类型分配权重。这样可以针对器件范围使给定器件类型具有大小不同的重要性。假设使用 1000 个表面贴装电阻器（故障率为 0.01%）和 100 个数字元器件（故障率为 0.5%，平均引脚计数为 500）制成一个电路板。即便电阻器的数量是 IC 的十倍，您仍然更加担心不良的 IC 而不是电阻器。因此，为 IC 分配更大的权重会导致 IC 的轻度测试要比全面测试看起来更糟。相反，如果没有为 IC 分配很大的权重，便会导致电阻器的全面测试看起来比实际情况更好。根本上讲，您可以针对最为担忧的元器件分配高于其他元器件的权重。相应的算法是将器件类型故障帕累托图归一化为一个单位 (1.0) 的权重。另一个方法是在没有故障历史记录时采用均匀分配。

器件类型	存在性 dpw(P)	正确性 dpw(C)	定向 dpw(O)	活动 dpw(L)	调整 dpw(A)
电阻器	0.3	0.3	0	0.3	0.1
电容器(非极性)	0.3	0.3	0	0.3	0.1
电容器(极性)	0.225	0.225	0.225	0.225	0.1
二极管	0.225	0.225	0.225	0.225	0.1
数字 IC	0.225	0.225	0.225	0.225	0.1
其他					0.1

表 1: 在线测试系统中, 每种器件类型的 PCOLA 器件属性权重 (dpw)。

4.4.4 数量调整器件类型权重

接下来，我们调整每个器件的权重以反映其在给定电路板上的数量。假设仅有 1000 个电阻器、100 个数字 IC 和 200 个电容器。

通常分配给其他器件类型的权重绝不会对范围记分产生影响，这意味着理想的积分是在 100,000 以下。若要参照器件数量重新分配权重，请执行以下操作：

1. 将 N 设为器件总数。
2. 将 n(t) 设为器件类型 t 的数量 (从 0 到 N)。
3. 将 dw(t) 设为器件类型 t 的器件类型权重。请注意，所有 dw(t) 的总和为 1.0。
4. 然后针对所有 t，Sum[n(t) * dw(t)/N] 并将其称为器件权重调制器 A。

4.4.5 电路板器件记分

对于给定的器件 d，器件记分 DS(d) 可以由原始器件记分、选定的范围和器件权重调制器 A 得出。

$$\text{DS(d)} = \text{RDS(d)} * \text{范围} * \text{dw(t)} / (\text{A} * \text{N})$$

然后，通过计算器件积分总和可以轻松得出电路板器件记分 BDS：

$$\text{BDS} = \text{对于所有器件 d, Sum DS(d)}$$

DS 的范围介于 0 (没有器件具有属性记分) 到范围 (所有器件都具有理想的记分) 之间。

4.4.6 可获得的最大器件记分

任意器件 d 的最大器件属性记分分为 $dps(P)$ 、 $dps(C)$ 、 $dps(O)$ 、 $dps(L)$ 和 $dps(A)$ ，这些数值理论上可以通过给定的测试仪算出。表 2 和表 3 分别是电阻器和数字器件的示例。

表格的内容非常简单: 采用给定的测试仪对器件属性进行全面或部分测试, 用以评估对应属性的范围, 最终对属性的“完全”或“部分”进行分级。同时, 不必考虑低位值电容器和高位值电容器并联后的可测试性, 以及给定 IC 是否配有可读标签和散热器等因素。(这就是“理想”状态。)

与采用从真实测试中得出的范围测量数据为电路板记分类似, 每个器件的最大可能记分也可以插入电路板器件记分方程中, 用以了解给定的测试仪能够提供的最佳记分是多少。这有助于解答这样的问题: “该测试仪的使用效果如何?” 或 “我在哪一方面花费时间可以有效地提高范围?”。由于存在实际限制 (并联器件、散热器等), 此值可能趋向一条渐近线。

测试类型	P	C	O	L	A
ICT	完全	部分	(无)	完全	未测试
AOI	完全	完全	(无)	未测试	完全
AXI	完全	未测试	(无)	未测试	完全

表 2: 对于任意电阻器, 理想的 PCOLA 记分最大值与测试技术。

测试类型	P	C	O	L	A
ICT	完全	部分	完全	完全	未测试
AOI	完全	完全	完全	未测试	完全
AXI	完全	未测试	完全	未测试	完全

表 3: 对于数字器件, 理想的 PCOLA 记分最大值与测试技术。

属性	短路, $cpw(S)$	开路, $cpw(O)$	质量, $cpw(Q)$
权重 ($s=0$)	0.0	0.9	0.1
权重 ($s>0$)	0.4 / s	0.5	0.1

表 4: 连接属性权重。

4.5 连接标准

我们希望累计每个连接测试的“记分”。例如, 连接 c 的开路状况可能被测试多次。假设一个测试给出“部分测试”的分数, 而另一个测试给出“全面测试”的分数。我们选取这两个记分的最大 () 函数, 即“全面测试”。如果两个都是部分结果, 则相加不会是满分。某些测试可能不会对特定属性评分。

4.5.1 连接属性权重

连接 c 可能是开路、与零个或多个相邻引脚发生短路或者存在质量问题。我们为每种属性选择权重以反映其重要性。对于如今常见的 SMT 技术, 我们知道开路比短路更常发生, 因此可以为开路分配更大的权重。

请注意, 给定的连接可能会存在零个或多个短路。我们必须根据连接的数量相应地调整权重。通过减去分配给单个短路的权重 (本例中为 0.4), 并且在没有短路的情况下将此权重添加到开路属性, 从而完成上述调整。如果一个引脚有一个或多个短路, 则通过除以短路 s 的数量来为所有短路分配权重。表 4 显示了 SOQ 连接属性权重 $cpw(S)$ 、 $cpw(O)$ 和 $cpw(Q)$ 。权重总和必须为 1.0。连接属性权重的 10% 分配给定性问题, 因此 ICT 等“基本”测试仪至多能够测试连接属性记分总分的 90%。

4.5.2 连接属性记分

根据连接焊点的 SOQ 属性, 测试可以记为“未测试”、“部分测试”和“完全测试”, 分别为其分配值 0、0.5 和 1.0。然后, 连接 c 的连接属性记分分别写成 cps(JS)、cps(JO) 和 cps(JQ)。

给定连接 c 的连接记分 CS(c) 是焊点 SOQ 属性记分的权重总和:

$$CS(c) = cps(JS) * cpw(JS) + cps(JO) * cpw(JO) + cps(JQ) * cpw(JQ)$$

4.5.3 电路板连接记分

假设给定所有连接 c 的连接记分, 则电路板连接记分为:

$$BCS = CS(c) \text{ 所有 } c \text{ 之和}$$

4.6 可获得的最大连接记分

表 5 显示了每种技术可获得的最大连接记分, 可根据理论上的最佳可能状况来测量给定测试技术提供的范围。同样无需考虑实际限制, 例如 IC 上的并联电源 (ICT 无法测量) 或隐藏于 BGA 中的焊点 (对于 AOI 不可见)。

测试类型	短路, cpw(S)	开路, cpw(O)	质量, cpw(Q)
ICT	完全	完全	未检测
AOI	完全	完全	完全
AXI	完全	完全	完全

表 5: 理想的连接记分最大值与测试技术

4.7 从测试中导出记分

通过检查每个测试可得出器件记分和连接记分。对于每个测试, 我们要了解接受测试的是哪些器件和连接以及器件属性与连接属性的测试效果。针对数字 IC 在线测试、并联电容器测试和在线测试仪的 TestJet® 测试 (无法测试调整和焊点质量), 下面给出了三个示例。请注意, 假设所有属性在属性测试记分为“部分”或“完全”之前均为“未测试”。如果有多个测试为给定属性记分, 则使用“最大化”函数, 这表明会选择较高的记分。

4.7.1 数字在线 (不包括边界扫描)

这些测试提取自测试矢量的制备程序库中, 并且经常根据电路拓扑而进行修改。

存在性 (P): 如果 (pin_outputs_toggled > 0), 则 P = 完全。

注: pin_outputs_toggled 是针对输出高电平与低电平 (由测试确定) 而被检测的输出 (或双向) 引脚的数量。

正确性 (C): 如果 (pin_outputs_toggled > 0), 则 C = 部分

活动 (L): 如果 (pin_outputs_toggled > 0), 则 L = 完全

定向 (O): 如果 (pin_outputs_toggled > 0), 则 O = 完全

虚焊 (JO): 如果 (pin_is_output) 和 (pin_toggled), 则 JO = 完全,

否则 ((pin_outputs_toggled > 0) 和 (pin_is_input) 和 (pin_toggled)), 则 JO = 部分

注: 输入引脚开路的记分绝不会高于“部分”属性, 原因在于:

- 故障仿真模式极为少见
- 由于拓扑冲突 (如相连引脚), 一些测试矢量可能已被舍弃。

4.7.2 并联网络中的电容器测试

对于并联网络中的电容器，其等效电容为器件值之和，而每个电容器可以估算为：

存在性(P): 如果 $((\text{test_high_limit} - \text{device_high_limit}) < (\text{test_low_limit}))$ ，则 P = 完全

注: test_high_limit 是电容器累计容限以及测试系统自身预计测量误差中的较大值。(test_low_limit 同样如此。)device_high_limit 是与额定值相加的被测器件正容限。

焊点短路(JS): 如果 $(P > \text{未测试})$ ，则 Mark_Shorts_Coverage(Node_A, Node_B)

注: Node_A 和 Node_B 是电容器引脚上的节点。“Mark_Shorts_Coverage”程序会把这两个节点上的任何相邻引脚标记为完全覆盖，其中包括器件(而非目标电容器)上的引脚对。

虚焊(JO): 如果 $(P > \text{未测试})$ ，则两个连接记分 JO = 完全

只有那些经过存在性测试的电容器才能够拥有焊点短路和虚焊范围。并联电容器不具有其他属性: 正确性、活动和定向。

这条针对旁路电容器的规则表明只有低频率的大型旁路电容器才具备存在性等级。而高频率的小型电容器的存在性将标记为“未测试”。请考虑两种情况：

1. C1 = 500 nF 与 C2 = 100 nF 并联。两个电容器均有 10% 的容限。

C1: $660 - 550 = 110 < 540$ ，因此 P = 完全

C2: $660 - 110 = 550 > 540$ ，因此 P = 未测试

在此情况下，只对 500 nF 的电容器评级。

2. 六个 100 nF 电容器并联，每个均有 10% 容限。

Cx: $660 - 110 = 550 > 540$ ，因此 P = 未测试

所有这些电容器均不会被评级。

4.7.3 TestJet®

TestJet 测试针对器件上的每个引脚测量引脚与放置于器件封装之上的传感器板之间的电容。测试可能会漏掉器件的部分引脚。对于每个被测试的器件，TestJet 测试记分为：

存在性(P): 如果 $(\text{at_least_one_pin_tested})$ ，则 P = 完全

虚焊(JO): 所有被测引脚记分 JO = 完全

在接入受限的情况下，通过将串联电阻直接连接到被测件中，可执行 TestJet 测量。因此，实质上测试的是串联电阻器的属性。只有存在电阻器并建立两者连接时，TestJet 才会通过引脚测量。所以，串联电阻器的存在性延续了被测引脚的虚焊记分。

存在性(P): P = 被测引脚的 JO 记分

同样地，该引脚的测试实质上可以测试电阻器每个引脚的开路属性。串联元器件的虚焊记分同样也延续了被测件焊点的 JO 记分。

虚焊(JO): JO = 被测引脚的 JO 记分

因此在接入受限的环境中，可能会测试那些通常不作为测试对象的器件属性。不妨再问一遍：“测试通过时意味着什么？”

5 结论

本文介绍了一种要求严格的、与测试技术无关的独立方法，用于计算印刷电路板中的缺陷，并提供可测量一个或一组测试范围的标准。此套方法可用于对测试范围进行有意义的对比，还可用于测量互补型测试技术的组合效力。借助此标准，您可以了解在哪一方面增加测试投资可以获得最佳回报。为克服“旧方法”的不足之处，尤其是在受限接入测试方法和较新的目视检测技术方面，需要对测试范围展开全新的分析。

6 参考资料

- [IEEE01] 《Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture》，IEEE Std 1149.1-2001
- [Park96] 《ITC 1996 Lecture Series on Unpowered Opens Testing》，K. P. Parker, 国际测试会议记录, 1996年, 924页
- [Schl87] 《Real-World Board Test Effectiveness: What Does It Mean When a Board Test Passes》，E. O. Schlotzhauer和R. J. Balzer, 国际测试会议记录, 1987年, 792~797页。
- [Tege96] 《Opens Board Test Coverage:When is 99% Really 40%》，M. V. Tegethoff、K. P. Parker、K. Lee, 国际测试会议记录, 1996年, 333~339页。

myKeysight

myKeysight
www.keysight.com/find/mykeysight
个性化视图为您提供最适合自己的信息!



3年保修
是德科技卓越的产品可靠性和广泛的3年保修服务完美结合, 从另一途径帮助您实现业务目标: 增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。



是德科技保证方案
www.keysight.com/find/AssurancePlans
5年的周密保护以及持续的巨大预算投入, 可确保您的仪器符合规范要求, 精确的测量让您可以继续高枕无忧。

是德科技渠道合作伙伴
www.keysight.com/find/channelpartners
黄金搭档: 是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。

www.keysight.com/find/ict

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息, 请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表, 请访问: www.keysight.com/find/contactus

是德科技客户服务热线
热线电话: 800-810-0189、400-810-0189
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863
电子邮件: tm_asia@keysight.com

是德科技(中国)有限公司
北京市朝阳区望京北路3号是德科技大厦
电话: 86 010 64396888
传真: 86 010 64390156
邮编: 100102

是德科技(成都)有限公司
成都市高新区南部园区天府四街116号
电话: 86 28 83108888
传真: 86 28 85330931
邮编: 610041

是德科技香港有限公司
香港北角电器道169号康宏汇25楼
电话: 852 31977777
传真: 852 25069233

上海分公司
上海市虹口区四川北路1350号
利通广场19楼
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200080

深圳分公司
深圳市福田区福华一路6号
免税商务大厦裙楼东3层3B-8单元
电话: 86 755 83079588
传真: 86 755 82763181
邮编: 518048

广州分公司
广州市天河区黄埔大道西76号
富力盈隆广场1307室
电话: 86 20 38390680
传真: 86 20 38390712
邮编: 510623

西安办事处
西安市碑林区南关正街88号
长安国际大厦D座501
电话: 86 29 88861357
传真: 86 29 88861355
邮编: 710068

南京办事处
南京市鼓楼区汉中路2号
金陵饭店亚太商务楼8层
电话: 86 25 66102588
传真: 86 25 66102641
邮编: 210005

苏州办事处
苏州市工业园区苏华路一号
世纪金融大厦1611室
电话: 86 512 62532023
传真: 86 512 62887307
邮编: 215021

武汉办事处
武汉市武昌区中南路99号
武汉保利广场18楼A座
电话: 86 27 87119188
传真: 86 27 87119177
邮编: 430071

上海MSD办事处
上海市虹口区欧阳路196号
26号楼一楼J+H单元
电话: 86 21 26102888
传真: 86 21 26102688
邮编: 200083