



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510031392.9

[43] 公开日 2005年9月7日

[11] 公开号 CN 1664600A

[22] 申请日 2005.3.30

[21] 申请号 200510031392.9

[71] 申请人 中国人民解放军国防科学技术大学  
地址 410073 湖南省长沙市砚瓦池正街47号  
国防科大计算机学院

[72] 发明人 蒋句平 田宝华 苏湘玉 肖立权  
刘勇鹏 屈晚霞 徐荣生 罗煜峰

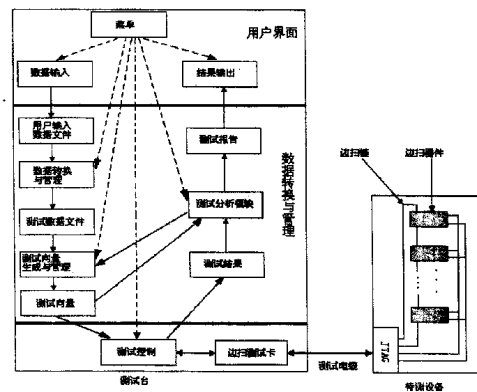
[74] 专利代理机构 湖南兆弘专利事务所  
代理人 赵洪

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

[54] 发明名称 基于二分法的电路连线导通测试方法

[57] 摘要

本发明公开了一种基于二分法的电路连线导通测试方法，要解决的技术问题是克服目前电路连线导通测试方法故障覆盖率低、测试次数较多的问题，技术方案是微机上安装一个基于二分法编制的电路连线导通测试控制程序，在对短路故障进行检测时，将待测的电路连线网络当成一个集合，并将这个集合划分为两个不相交的子集，每个子集中的任一连线网络不会同另一个子集中的任一连线网络发生短路故障。然后进一步对划分的子集进行划分，直到子集只含有一条连线或者子集中的所有连线相互之间存在短路故障，不能再划分为止。采用本发明故障覆盖率高、测试次数很少，故障定位准确。



1. 一种基于二分法的电路连线导通测试方法, 利用边界扫描技术进行电路连线导通测试, 其特征在于微机上安装有一个基于二分法编制的电路连线导通测试控制程序, 在对短路故障进行检测时, 将待测的电路连线网络当成一个集合, 并将这个集合划分为两个不相交的子集, 每个子集中的任一连线网络不会同另一个子集中的任一连线网络发生短路故障, 然后进一步对划分的子集进行划分, 直到子集只含有一条连线或者子集中的所有连线相互之间存在短路故障, 不能再划分为止; 此时, 若子集中只含有一条连线, 则表明此连线没有同其它任一连线发生短路故障, 是正常的; 若子集含有多条连线, 则这些连线肯定是短接在一起, 无法再次划分。

2. 如权利要求 1 所述的基于二分法的电路连线导通测试方法, 其特征在于进行连线网络集合划分的原则是: 发生短路故障的连线, 它们的输出端输出的测试响应码肯定相同; 输出不同测试响应码的连线, 肯定没有与它们短接在一起。依据此原则, 本发明进行连线网络集合划分的方法是对连线网络集合  $V$  进行一次测试, 根据输出的测试响应码将  $V$  划分为两个子集: 测试响应码为 1 的网络子集  $V_1$  和测试响应码为 0 的网络子集  $V_0$ ; 然后再对  $V_1$  和  $V_0$  分别进行测试, 进一步将它们划分为更小的子集 ( $V_{11}, V_{10}, V_{01}, V_{00}$ ), 如此进行下去, 直到子集只含有一条连线或者子集中所有连线的测试响应码相同为止。

3. 如权利要求1所述的基于二分法的电路连线导通测试方法, 其特征在于本发明定义了两个概念: 从某一连线 $n_i$ 的输入端输入1, 从另一连线 $n_j$ 的输入端输入0, 若 $n_j$ 的输出端输出为1, 则称 $n_i$ 能够连接到 $n_j$ ; 对于连线网络集合 $V$ 的一个子集 $R$ , 若 $R$ 中的连线能够连接到 $V$ 中的所有连线, 则称 $R$ 为 $V$ 的代表; 由第一个概念可知, 若连线 $n_i$ 与 $n_j$ 之间存在短路故障, 则 $n_i$ 必定能够连接到 $n_j$ , 反之亦然; 如果 $n_1, n_2, \dots, n_k$ 这 $K$ 个连线之间存在短路故障, 则任一连线 $n_i (i=1, \dots, k)$ 能够连接到这 $K$ 个连线, 从连线 $n_i (i=1, \dots, k)$ 的输入端输入测试码1, 其余的连线输入端无论输入0还是1, 这 $k$ 个连线的输出端都会输出1; 由第二个概念可知, 如果 $R$ 中的连线输入端输入测试码1, 则无论 $V$ 中的其它连线输入端输入0或者1,  $V$ 中的所有连线输出端输出的都会是1, 因此,  $V$ 也是自身的代表。

4. 如权利要求1所述的基于二分法的电路连线导通测试方法, 其特征在于为了能够检测出固定状态故障和开路故障, 本发明增加两个隐含的连线: 电源VCC和地GND, VCC代表所有输出端状态为1的连线, 即存在S-A-1故障和开路故障的连线, GND代表所有输出端状态为0的连线网络, 即存在S-A-0故障的连线。

5. 如权利要求 1 所述的基于二分法的电路连线导通测试方法, 其特征在于采用二分法进行连线导通测试的具体过程是:

5.1 将待测电路通过测试电缆连接到测试台, 确保连接正确, 以免影响测试结果的正确性;

5.2 将待测连线网络以及隐含连线网络 VCC、GND 作为测试连线网络集合

V, V 的代表集合 R 为 V 自身;

5.3 如果 R 中只含有一条连线, 则停止测试, 测试结果如下:

- 如果 R 中含有的是 VCC, 则 R 代表的连线网络集合 V 中的连线存在开路故障或者 S-A-1 故障;
- 如果 R 中含有的是 GND, 则 R 代表的连线网络集合 V 中的连线存在 S-A-0 故障;
- 否则, R 代表的连线网络集合 V 中的连线之间存在桥接短路故障;

5.4 如果连线网络代表集 R 含有一条以上的连线, 则将 R 划分成  $R_1$  和  $R_0$  两个连线网络代表集,  $R_1$  含有的连线数目为  $\lceil |R|/2 \rceil$ ,  $R_0$  含有的连线数目为  $|R| - |R_1|$ ;

5.5 在代表集  $R_1$  含有的连线网络输入端输入测试码 1, 在  $R_0$  含有的连线网络输入端输入测试码 0, 在代表集以外的连线网络的输入端输入测试码 0, 对连线网络集合 V 进行测试;

5.6 依据测试结果将 V 划分为两个连线网络: 测试响应值为 1 的连线网络集合  $V_1$  和测试响应值为 0 的连线网络集合  $V_0$ ;

5.7 由于发生开路故障和固定状态故障的连线网络会包含在代表集中, 因此对 V 划分后,  $R_1$  中会含有不属于  $V_1$  的连线网络,  $R_0$  中会含有不属于  $V_0$  的连线网络, 若存在这种情况, 根据代表集的含义, 则去除  $R_1$  中不属于  $V_1$  的连线, 去除  $R_0$  中不属于  $V_0$  的连线, 然后对  $R_1$  所代表的连线网络集合  $V_1$  以及  $R_0$  所代表的连线网络集合  $V_0$  分别进行测试;

在第4步对网络代表集R进行划分时, 如果VCC包含在R中, 则要保证划分后VCC包含在 $R_1$ 中, 以确保VCC在每次的测试中都隐含发送1; 如果GND包含在R中, 则要保证划分后GND包含在 $R_0$ 中, 以确保GND在每次的测试中都隐含发送0。

## 基于二分法的电路连线导通测试方法

**技术领域：**本发明涉及计算机硬件测试的方法，尤其是对复杂印刷电路板（PCB）上芯片间连线利用边界扫描技术进行高效导通测试的方法。

**背景技术：**随着大规模集成电路、超大规模集成电路技术的发展和运用，计算机系统和电路板的结构、功能越来越复杂，常规的测试技术和手段已经无法获取足够的测试信息来完成对电路的测试。自从 IEEE 于 1990 年公布了 IEEE1149.1 边界扫描标准以后，边界扫描技术得到了迅速的发展和运用。由于边界扫描技术能够对大规模集成电路、微电路、复杂 PCB 的功能和连线的正确性进行有效的测试，并且成本相对较低，得到了计算机业界广泛的支持和运用。

利用边界扫描技术进行器件间连线导通测试的基本测试方法是：在测试控制器控制下，从电路连线网络输入端的边界扫描单元加载测试码，同时发送“外部测试”指令，然后通过电路连线网络输出端的边界扫描单元读取输出值，根据输入、输出结果判断连线网络内电路连线是否存在互连故障。

在利用边界扫描技术进行连线导通故障测试时，测试的故障覆盖率和故障定位精度取决于测试码的故障诊断能力，测试时间取决于边界扫描测试的次数和边界扫描链的长度。对于一定的测试电路，边界扫描链的长度是固定的，测试时间主要取决于测试的次数。在实际运用中，既要求测试码有较高的故障诊断能力，又对测试次数有较高的要求。

利用边界扫描技术进行连线导通故障测试的测试方法有多种，如计数序列法、计数补偿法、移位法、W 步自适应法等。Kautz 最早提出计数序列法，计数序列法为连线网络中每条连线分配不同的编号，并在测试时将连线编号的二进制形式作为测试码施加到连线测试端。这种方法能够检测任何短路故障，但是由于含有全 0 和全 1 的测试码，因此不能检测固定状态故障和开路故障，同时也存在征兆误判（当某一连线的测试码同某类短路故障的测试响应码相同时，将会导致在故障定位时无法确定此连线是否包含在该短路故障中）和征兆混淆（当存在多个相同的测试响应码时，将会导致在故障定位时无法确定这些连线之间是否存在短路）现象。

1982 年 Goel 和 McMahon 提出了改良计数序列法，改良计数序列法在计数序列法的基础上去除了全 0 和全 1 测试码，此方法不仅能检测到所有的桥接故障，还能检测出计数序列法不能检测的固定状态故障和开路故障，但与计数序列法一样，存在征兆误判和征兆混淆现象，不能对检测到的故障准确定位。

Wagner 提出的计数补偿法能够解决征兆误判问题，但它仍然存在征兆混淆现象。Hassan 提出的移位 1 法是传统测试方法中仅有的能够解决征兆混淆现象的方法，但是由于它的测试次数与待测试连线网络的数目相同，在实际的运用中很难满足连线测试对时间的要求。

在实际的测试中，每个测试码都包含了一定的测试信息。因此，在测试中，如果能够利用前面测试码的测试结果来生成后面的测试码，所达到的测试性能将会更为优化。这就

是自适应测试方法的主要思想。Jarwala和Yau提出的W步自适应测试法首先利用改良计数序列法对连线网络进行初级测试；然后对测试响应码进行分析，识别出具有相同响应测试码的连线网络，最后对这些连线施加移位“1”测试法。这种方法能诊断征兆误判和征兆混淆故障，具有完备的诊断能力；但在故障连线数量较多的情况下，W的步数也会很大，因而测试时间很长。

因此目前利用边界扫描技术进行连线导通故障测试的测试方法要么故障覆盖率低，诊断能力弱，故障定位不准确；要么测试次数多，测试时间长。

**发明内容：**本发明所要解决的技术问题是克服目前利用边界扫描技术进行电路连线导通测试时故障覆盖率低、诊断能力弱、测试次数较多、测试时间长的问題，提出了一种基于二分法的电路连线导通测试方法，使得测试高效且具有较高故障覆盖率。

本发明也是利用边界扫描技术进行电路连线导通测试，技术方案是将待测电路通过测试电缆连接到测试台，对待测设备进行测试。测试台由一台微机，一块边扫测试卡组成，微机上安装有一个基于二分法编制的电路连线导通测试控制程序进行接收和转换用户数据、生成测试码、进行测试控制，并对测试结果进行回收与分析。边扫测试卡是单独制作的一块PCI插卡，主要功能是在测试控制程序的控制下产生相应的测试信号。二分法主要思想是在对短路故障进行检测时，将待测的电路连线网络当成一个集合，并将这个集合划分为两个不相交的子集，每个子集中的任一连线网络不会同另一个子集中的任一连线网络发生短路故障。然后进一步对划分的子集进行划分，直到子集只含有一条连线或者子集中的所有连线相互之间存在短路故障，不能再划分为止。此时，若子集中只含有一条连线，则表明此连线没有同其它任一连线发生短路故障，是正常的；若子集含有多条连线，则这些连线肯定是短接在一起，因此无法再次划分。

本发明进行连线网络集合划分的原则是：发生短路故障的连线，它们的输出端输出的测试响应码肯定相同；输出不同测试响应码的连线，肯定没有与它们短接在一起。依据此原则，本发明进行连线网络集合划分的方法是对连线网络集合V进行一次测试，根据输出的测试响应码将V划分为两个子集：测试响应码为1的网络子集 $V_1$ 和测试响应码为0的网络子集 $V_0$ ；然后再对 $V_1$ 和 $V_0$ 分别进行测试，进一步将它们划分为更小的子集（ $V_{11}$ ， $V_{10}$ ， $V_{01}$ ， $V_{00}$ ），如此进行下去，直到子集只含有一条连线或者子集中所有连线的测试响应码相同为止。最坏的情况下，即每次的划分仅将一条连线从网络子集中划分出来，则测试共需进行N次，N为V中含有的测试连线的条数；最佳情况下，若每次都均将连线网络子集划分成大小相等的两个子集，则只需要 $\lceil \log_2 N \rceil$ 次。

电路板连线网络存在的故障主要有固定状态故障、开路故障和短路故障。固定状态故障包括S-A-1故障（电路状态始终为“1”）和S-A-0故障（电路状态始终为“0”）。开路故障是指由于电路连线开路导致的故障。在电路板中，依据不同的电路具体结构，开路故障等价于S-A-1故障或S-A-0故障。短路故障是由于两个或两个以上的连线相互短路导致的故障，故障所涉及的连线具有相同的输出状态，即在不同的测试码激励下，具有相同的响应码。短路故障主要包括两类：线或逻辑短路和线与逻辑短路。为阐述方便，下述的内容主要针对线或逻辑，如果具体的电路结构是线与逻辑，只要将测试码翻转（即在下述测试方法中，

输入1的连线改为输入0，输入0的连线改为输入1)即可。

本发明定义了两个概念：从某一连线 $n_i$ 的输入端输入1，从另一连线 $n_j$ 的输入端输入0，若 $n_j$ 的输出端输出为1，则称 $n_i$ 能够连接到 $n_j$ ；对于连线网络集合 $V$ 的一个子集 $R$ ，若 $R$ 中的连线能够连接到 $V$ 中的所有连线，则称 $R$ 为 $V$ 的代表。

由第一个概念可知，若连线 $n_i$ 与 $n_j$ 之间存在短路故障，则 $n_i$ 必定能够连接到 $n_j$ ，反之亦然；如果 $n_1, n_2, \dots, n_k$ 这 $K$ 个连线之间存在短路故障，则任一连线 $n_i (i=1, \dots, k)$ 能够连接到这 $K$ 个连线，从连线 $n_i (i=1, \dots, k)$ 的输入端输入测试码1，其余的连线输入端无论输入0还是1，这 $k$ 个连线的输出端都会输出1。由第二个概念可知，如果 $R$ 中的连线输入端输入测试码1，则无论 $V$ 中的其它连线输入端输入0或者1， $V$ 中的所有连线输出端输出的都会是1。因此， $V$ 也是自身的代表。

为了能够检测出固定状态故障和开路故障，本发明增加两个隐含的连线：电源(VCC)和地(GND)。很明显，VCC能够代表所有输出端状态为1的连线，即存在S-A-1故障和开路故障的连线，GND能够代表所有输出端状态为0的连线网络，即存在S-A-0故障的连线。

采用二分法进行连线导通测试的具体过程是：

- 1、将待测电路通过测试电缆连接到测试台，确保连接正确，以免影响测试结果的正确性。
- 2、将待测连线网络以及隐含连线网络VCC、GND作为测试连线网络集合 $V$ ， $V$ 的代表集合 $R$ 为 $V$ 自身。
- 3、如果 $R$ 中只含有一条连线，则停止测试，测试结果如下：
  - 如果 $R$ 中含有的是VCC，则 $R$ 代表的连线网络集合 $V$ 中的连线存在开路故障或者S-A-1故障；
  - 如果 $R$ 中含有的是GND，则 $R$ 代表的连线网络集合 $V$ 中的连线存在S-A-0故障；
  - 否则， $R$ 代表的连线网络集合 $V$ 中的连线之间存在桥接短路故障；
- 4、如果连线网络代表集 $R$ 含有一条以上的连线，则将 $R$ 划分成 $R_1$ 和 $R_0$ 两个连线网络代表集， $R_1$ 含有的连线数目为 $\lceil |R|/2 \rceil$ ， $R_0$ 含有的连线数目为 $|R| - |R_1|$ 。（ $|R|$ 表示连线网络集 $R$ 中含有的连线数目）
- 5、在代表集 $R_1$ 含有的连线网络输入端输入测试码1，在 $R_0$ 含有的连线网络输入端输入测试码0，在代表集以外的连线网络的输入端输入测试码0，对连线网络集合 $V$ 进行测试；
- 6、依据测试结果将 $V$ 划分为两个连线网络：测试响应值为1的连线网络集合 $V_1$ 和测试响应值为0的连线网络集合 $V_0$ 。
- 7、由于发生开路故障和固定状态故障的连线网络会包含在代表集中，因此对 $V$ 划分后， $R_1$ 中会含有不属于 $V_1$ 的连线网络， $R_0$ 中会含有不属于 $V_0$ 的连线网络。若存在这种情况，根据代表集的含义，则去除 $R_1$ 中不属于 $V_1$ 的连线，去除 $R_0$ 中不属于 $V_0$ 的连线。然后对 $R_1$ 所代表的连线网络集合 $V_1$ 以及 $R_0$ 所代表的连线网络集合 $V_0$

分别进行测试。

在第4步对网络代表集R进行划分时，如果VCC包含在R中，则要保证划分后VCC包含在 $R_1$ 中，以确保VCC在每次的测试中都隐含发送1；如果GND包含在R中，则要保证划分后GND包含在 $R_0$ 中，以确保GND在每次的测试中都隐含发送0。

对网络代表集R划分时， $|R_1| \leq \lceil |R|/2 \rceil < |R|$ ， $|R_0| \leq \lfloor |R|/2 \rfloor < |R|$ ，由测试执行方式以及归纳原理可知，最终网络代表集R的大小肯定为1，测试能够结束。考虑代表集为R的连线网络集V，设V中含有I条连线，R中含有j条连线，则此测试方法诊断故障所进行的测试次数 $P(i,j)$ 为：

$$P(i,j) \leq \begin{cases} 0 & \text{如果 } j=1 \\ 1+P(i, \lceil j/2 \rceil) & \text{如果 } j>1 \end{cases}$$

从而 $P(n,n) \leq \lceil \log_2 n \rceil$ 。由于在待测连线网络集中增加了VCC和GND两个隐含的连线，因此本发明测试方法在测试具有N条连线的连线网络时所需要的测试次数为 $\lceil \log_2(N+2) \rceil$ 。

采用本发明可以达到以下技术效果：

- 1) 测试次数很少。对任意的连线导通测试，由于仅仅是对测试网络集合的简单划分，测试次数都很少，能够对大量的连线网络进行快速有效的测试。
- 2) 故障覆盖率高。该方法不仅能够检测出连线网络的短路故障，而且也能够检测出固定状态故障。
- 3) 故障定位准确。此方法消除了征兆混淆和征兆误判现象，能够对故障进行准确定位。
- 4) 测试方法实现简单，只须将待测电路通过测试电缆连接到测试台，操作十分方便。

#### 附图说明：

图1是边界扫描技术基本原理图；

图2是采用本发明进行连线导通测试时的电路连接图；

图3是采用本发明进行连线导通测试的一个实例；

图4是各种测试方法性能比较图。

#### 具体实施方式：

图1是边界扫描技术的基本原理图。边界扫描技术的主要思想是通过在芯片管脚和芯片内部逻辑电路之间，即芯片的边界上增加由移位寄存器构成的边界扫描单元，实现对芯片管脚状态的串行设定和读取，从而提供芯片级、电路板级以至系统级的标准测试框架。如图所示，各边界扫描单元以串行方式连接成扫描链，既可以通过扫描输入端将测试码以串行的方式输入，对相应的管脚状态进行设定，实现测试码的加载；也可以通过扫描输出端将系统的测试响应串行输出，进行数据的分析与处理。

图2是利用本发明进行导通测试的电路连接图。测试设备包括一个测试台，一根测试电缆，待测设备。测试台由一台微机，一块边扫测试卡组成，微机上安装有采用基于二分法的方法编制的一个电路连线导通测试程序。电路连线导通测试程序主要功能包括：接收

和转换用户数据、测试码生成、测试控制、测试结果回收与分析。边扫测试卡是一块特制的 PCI 插卡，在测试控制程序的控制下产生相应的边界扫描测试信号。待测设备上有一个边界扫描接口 (JTAG)，设备上的边界扫描器件串联成一条边界扫描链。测试卡通过测试电缆与待测设备的边界扫描接口连接。

图 3 中有三个子图 A、B、C，是采用本发明进行导通测试的一个实施例，如图 A 所示，待测试的连线集合中包含 8 个连线，连线 n1 发生 S-A-0 故障，连线 n2, n4 和 n5 短接，连线 n3 开路，连线 n6 存在 S-A-1 故障，连线 n7 与 n8 短接。测试开始时，测试连线集合 V 为 {n1, …, n8, VCC, GND}，V 的代表集 R 为 {n1, …, n8, VCC, GND}。第 1 次测试，将 R 划分为 R<sub>1</sub> (包含 VCC, n1, n2, n3, n4) 和 R<sub>0</sub> (包含 n5, n6, n7, n8, GND) 两个子集，R<sub>1</sub> 中的连线输入测试码 1, R<sub>0</sub> 中的连线输入测试码 0。VCC, n2, n3, n4, n5, n6 的测试响应码为 1, n1, n7, n8, GND 的测试响应码为 0。根据测试响应码为 1 或 0，将 V 分为两个子集 V<sub>1</sub> (VCC, n2, n3, n4, n5, n6) 和 V<sub>0</sub> (n1, n7, n8, GND)。因为 n1 不在 V<sub>1</sub> 中，所以 R<sub>1</sub> 调整为 {VCC, n2, n3, n4}。同样，因为 n5, n6 不在 V<sub>0</sub> 中，所以 R<sub>0</sub> 调整为 {n7, n8, GND}。如图 B 所示，第 2 次并行对 (V<sub>1</sub>, R<sub>1</sub>) 和 (V<sub>0</sub>, R<sub>0</sub>) 进行测试，将 R<sub>1</sub> 划分为 R<sub>11</sub> (VCC, n2) 和 R<sub>10</sub> (n3, n4)，R<sub>0</sub> 划分为 R<sub>01</sub> (n7) 和 R<sub>00</sub> (n8, GND)；R<sub>11</sub> 和 R<sub>01</sub> 中的连线输入测试码 1，R<sub>10</sub> 和 R<sub>00</sub> 中的连线输入测试码 0。测试结果进一步将 V<sub>1</sub> 分为 V<sub>11</sub> (VCC, n2, n3, n4, n5, n6) 和 V<sub>10</sub>，V<sub>10</sub> 为空；将 V<sub>0</sub> 分为 V<sub>01</sub> (n7, n8) 和 V<sub>00</sub> (n1, GND)；代表集 R<sub>11</sub> 进一步调整为 {VCC, n2}，R<sub>01</sub> 调整为 {n7}，R<sub>00</sub> 调整为 {GND}，R<sub>10</sub> 不含任何连线，去除掉。因为 R<sub>01</sub>、R<sub>00</sub> 只含一条连线，所以对 (V<sub>01</sub>, R<sub>01</sub>) 和 (V<sub>00</sub>, R<sub>00</sub>) 的测试结束。如图 C，第 3 次只对 (V<sub>11</sub>, R<sub>11</sub>) 进行测试。R<sub>11</sub> 划分为 R<sub>111</sub> (VCC) 和 R<sub>110</sub> (n2)；测试后将 V<sub>11</sub> 划分为 V<sub>111</sub> (VCC, n3, n6) 和 V<sub>110</sub> (n2, n4, n5)。最后的测试结果为：{VCC} 代表 {VCC, n3, n6}，n3, n6 开路或固定为 1；{n2} 代表 {n2, n4, n5}，n2, n4, n5 桥接短路；{n7} 代表 {n7, n8}，n7, n8 桥接短路；{GND} 代表 {n1, GND}，n1 固定为 0。因此，采用本发明只须 3 ( $3 = \lceil \log_2(N+2) \rceil$ ) 次测试就将连线网络故障正确地检测并定位。

图 4 是各种导通测试方法性能比较。假设需要测试一个具有 1000 条连线的连线网络，利用每种方法进行测试所需要的测试次数、检测故障能力及其故障定位精度情况是：计数序列法测试 10 次，不能检测固定故障和开路故障，存在征兆混淆和征兆误判现象，不能对故障进行准确定位；改进计数序列法测试 10 次，能够检测到连线存在的所有故障，但不能对故障进行准确定位；计数补偿法测试 20 次，能够检测到连线存在的所有故障，但不能对故障进行准确定位；移位 1(0)法测试 1000 次，能够检测连线存在的所有故障并准确定位；W 步自适应法测试次数多余 10 次，也能够检测连线存在的所有故障并准确定位；利用本发明进行测试的次数为 10 次，并能够检测连线存在的所有故障并准确定位。可以看出，本发明所采用的基于二分法的测试方法在所有的导通测试方法中测试次数最少，故障覆盖率高，故障定位准确，能够较好地进行电路连线导通测试。



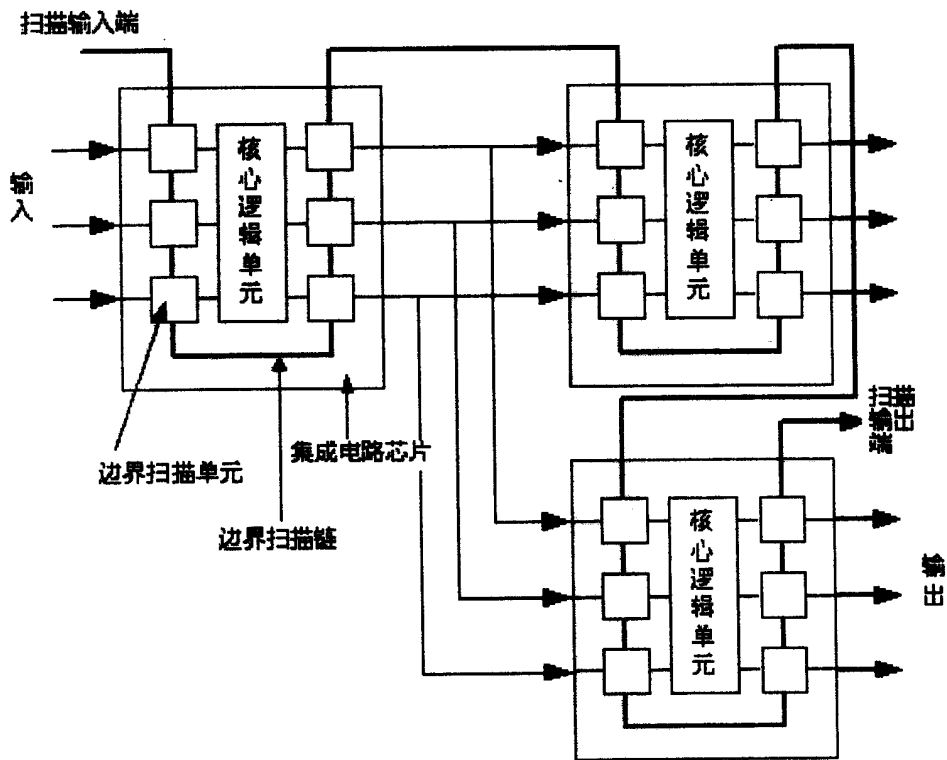


图 1

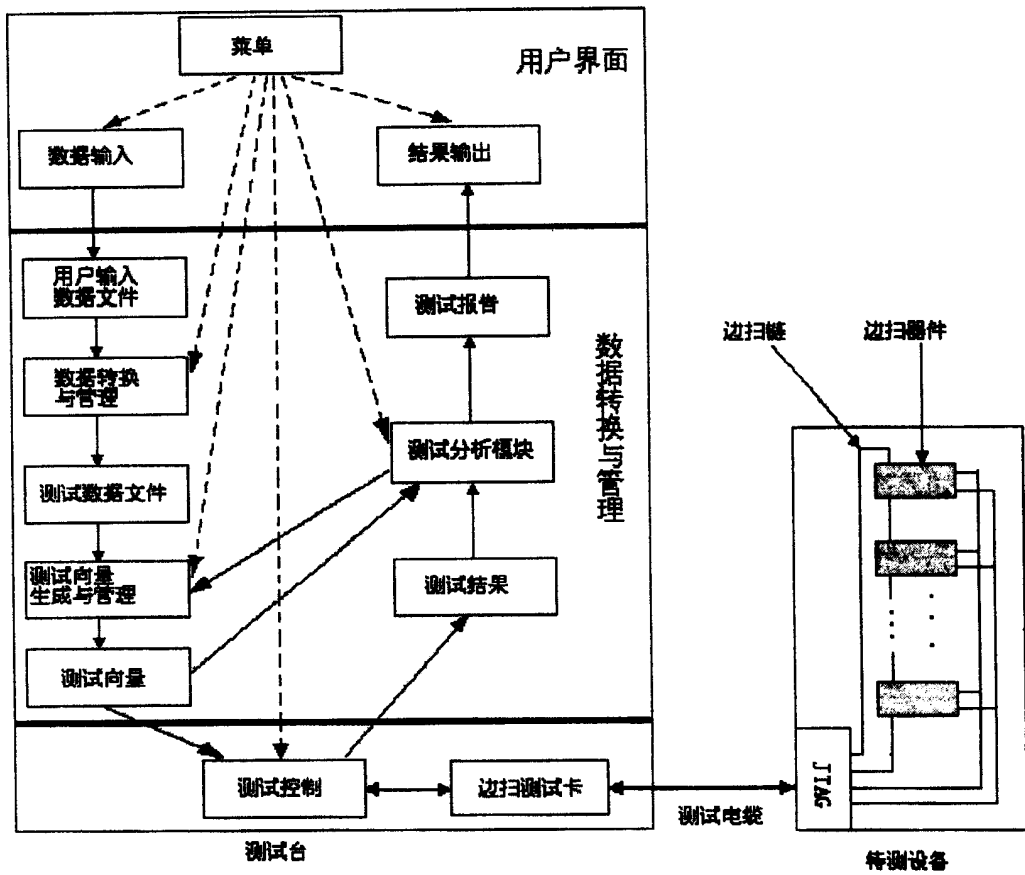


图 2

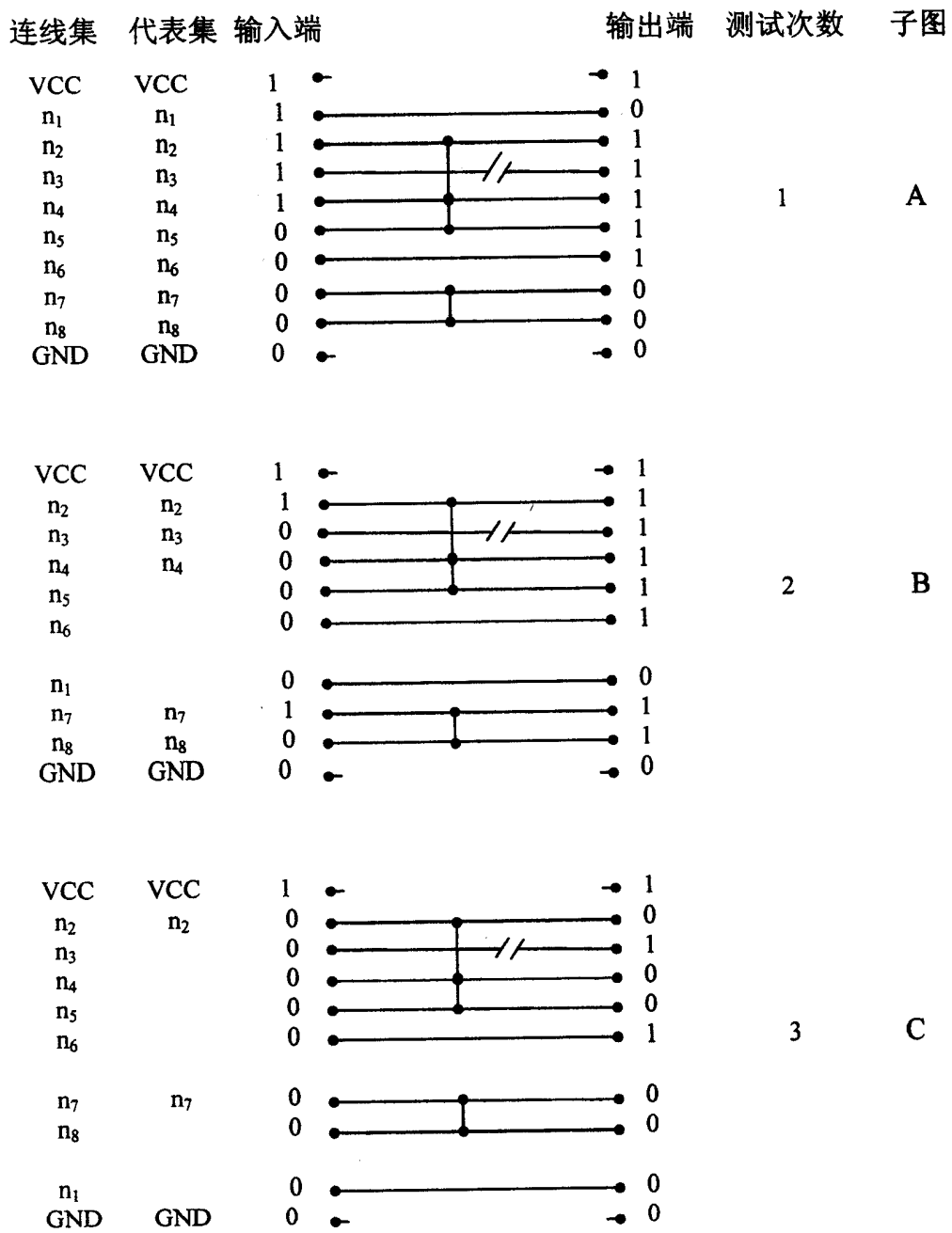


图 3

测试方法	当连线数为1000时的测试次数	当连线数为N时的测试次数	故障覆盖率	故障定位
计数序列法	10	$\lceil \log_2 N \rceil$	不能检测固定故障和开路故障	不能准确定位
改进计数序列法	10	$\lceil \log_2 (N + 2) \rceil$	能够检测所有故障	不能准确定位
计数补偿法	20	$2\lceil \log_2 N \rceil$	能够检测所有故障	不能准确定位
移位1(0)法	1000	N	能够检测所有故障	准确定位
W步自适应法	>10	$\lceil \log_2 N + 2 \rceil + W$	能够检测所有故障	准确定位
基于二分法	10	$\lceil \log_2 (N + 2) \rceil$	能够检测所有故障	准确定位

图4