

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480000608.9

G01R 31/319 (2006.01)
G01R 31/3193 (2006.01)
G01R 19/10 (2006.01)
G01R 19/165 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年1月7日

[11] 授权公告号 CN 100449322C

[22] 申请日 2004.4.27

[21] 申请号 200480000608.9

[30] 优先权

[32] 2003.4.29 [33] US [31] 10/425,329

[86] 国际申请 PCT/US2004/013109 2004.4.27

[87] 国际公布 WO2004/097436 英 2004.11.11

[85] 进入国家阶段日期 2005.1.28

[73] 专利权人 泰拉丁公司

地址 美国马萨诸塞州

[72] 发明人 大卫·G·莱普

[56] 参考文献

CN1158172A 1997.8.27

US5514972A 1996.5.7

WO9324993A 1993.12.9

US5424663A 1995.6.13

US5485292A 1996.1.16

CN1241259A 2000.1.12

审查员 黄素霞

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责
任公司

代理人 钟强 谷惠敏

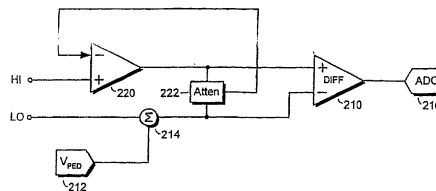
权利要求书4页 说明书6页 附图2页

[54] 发明名称

具有改进精度的测量电路

[57] 摘要

一种用于在自动测试系统中测量输入电压的测量电路包括：消隐源、差分放大器和反馈放大器。该差分放大器测量“残数”，即输入信号和来自消隐源的消隐信号之间的差，其可被编程为等于期望输入电压。反馈放大器在该残数被提供给差分放大器之前提升该残数，并且因此允许差分放大器操作在低于典型用于常规拓扑结构中的增益的增益。因此，在差分放大器中误差的影响减小。



1. 一种测量电路，包括：
差分放大器，其具有第一输入和第二输入；
消隐源，其联接于该差分放大器的第一输入，用于产生消隐电压；
反馈放大器，其具有用于接收待测量的输入信号的第一输入，用于接收反馈信号的第二输入，和联接于该差分放大器第二输入的输出；
以及
衰减器，其联接在该差分放大器的第一输入和第二输入之间并提供用于反馈放大器的反馈信号。
2. 权利要求 1 的测量电路，其中，反馈放大器第一输入处的输入信号是待测量的输入信号的高侧 HI，该测量电路进一步包括：
加法电路，其与消隐源联接，用于将待测量的输入信号的低侧 LO 相加到消隐电压。
3. 如权利要求 1 所述的测量电路，其中，衰减器包括：
第一阻抗，其具有联接于反馈放大器输出的第一节点和联接于反馈放大器第二输入的第二节点；以及
第二阻抗，其具有联接于反馈放大器第二输入的第一节点和联接于差分放大器第一输入的第二节点。
4. 如权利要求 1 所述的测量电路，其中，第一和第二阻抗是每个都具有电阻的电阻器，并且第一阻抗的电阻是第二阻抗的电阻的 $G-1$ 倍，其中 G 是差分放大器的增益。
5. 如权利要求 1 所述的测量电路，其中，消隐源可编程为等于测量电路的期望输入电压的值。
6. 如权利要求 1 所述的测量电路，其中，反馈放大器包括：

输入级，用于接收待测量的输入信号和反馈信号；以及
积分器级，其具有联接于该输入级输出的输入和联接于差分放大器第二输入的输出，用于在直流处提供高增益。

7. 如权利要求 6 所述的测量电路，其中，反馈放大器进一步包括反相器级，其串联联接在该输入级的输出与该积分器级的输入之间。

8. 如权利要求 7 所述的测量电路，其中，输入级、反相器级和积分器级中的每一个包括至少一个运算放大器。

9. 一种用于测试电子器件的自动测试系统，包括：
计算机，用于执行测试程序；
多个激励电路，其可在计算机控制下进行操作；以及
多个测量电路，其可在计算机控制下进行操作，每个测量电路包括：

差分放大器，其具有第一输入和第二输入；
消隐源，其联接于该差分放大器的第一输入，用于产生消隐电压；
反馈放大器，其具有用于接收待测量的输入信号的第一输入，用于接收反馈信号的第二输入，和联接于该差分放大器第二输入的输出；
以及

衰减器，其具有：与该差分放大器的第一输入联接的第一节点，
与该差分放大器的第二输入联接的第二节点，以及用于提供用于反馈放大器的反馈信号的第三节点。

10. 如权利要求 9 所述的自动测试系统，其中，反馈放大器第一输入处的输入信号是待测量的输入信号的高侧 HI，该测量电路进一步包括：

加法电路，其与消隐源联接，用于将待测量的输入信号的低侧 LO 相加到消隐电压。

11. 如权利要求 9 所述的自动测试系统，其中，衰减器包括：

第一阻抗，其具有联接于反馈放大器输出的第一节点和联接于反馈放大器第二输入的第二节点；以及

第二阻抗，其具有联接于反馈放大器第二输入的第一节点和联接于差分放大器第一输入的第二节点。

12. 如权利要求 11 所述的自动测试系统，其中，第一和第二阻抗是每个都具有电阻的电阻器，并且第一阻抗的电阻是第二阻抗的电阻的 $G-1$ 倍，其中 G 是差分放大器的增益。

13. 一种制造电子电路的方法，包括：

在电子电路上执行多个制造步骤；以及

测试该电子电路，以检验该多个制造步骤，

其中测试步骤包括：施加激励给该电子电路并测量来自该电子电路的响应，以及

其中测量响应的步骤使用测量电路，该测量电路包括：

差分放大器，其具有第一输入和第二输入；

消隐源，其联接于该差分放大器的第一输入，用于产生消隐电压；

反馈放大器，其具有用于接收待测量的输入信号的第一输入，用于接收反馈信号的第二输入，和联接于该差分放大器第二输入的输出；以及

衰减器，其联接在该差分放大器的第一输入和第二输入之间并提供用于反馈放大器的反馈信号。

14. 如权利要求 13 所述的方法，其中，测量响应的步骤包括读取来自测量电路的值。

15. 如权利要求 14 所述的方法，其中进一步包括：比较所读取的值与期望值，以确定该电子电路是通过其测试还是失败。

16. 如权利要求 13 所述的方法，其中，反馈放大器第一输入处的输入信号是待测量的输入信号的高侧 HI，该测量电路进一步包括：

加法电路，其与消隐源联接，用于将待测量的输入信号的低侧 LO 相加到消隐电压。

17. 如权利要求 13 所述的方法，其中，衰减器包括：

第一阻抗，其具有联接于反馈放大器输出的第一节点和联接于反馈放大器第二输入的第二节点；以及

第二阻抗，其具有联接于反馈放大器第二输入的第一节点和联接于差分放大器第一输入的第二节点。

18. 如权利要求 17 所述的方法，其中，第一和第二阻抗是每个都具有电阻的电阻器，并且第一阻抗的电阻是第二阻抗的电阻的 $G-1$ 倍，其中 G 是差分放大器的增益。

具有改进精度的测量电路

技术领域

本发明总的来说涉及用于自动测试设备的测量电路，并且特别涉及使用精确消隐源的测量电路。

背景技术

自动测试系统的基本需求是精确测量来自待测试器件的电子信号的能力。已设计了多种电路拓扑结构用于这一目的。

图 1 示出了使用精确消隐源 112 的测量电路的高级别示例。该消隐源通常是可编程的并被调整为用于产生近似等于所期望的测量电路差分输入电压 HI-LO 的精确电压 V_{PED} 。求和电路 114 将测量电路的低侧 (LO) 与 V_{PED} 相加，并且差分放大器 110 测量测量电路高侧 (HI) 与加法器 114 输出 ($LO+V_{PED}$) 之间的差。然后，差分放大器的输出习惯上通过模/数转换器 116 转换成数字信号。

测量电路读取值 $G \cdot [(HI-LO)-V_{PED}]$ ，其中 G 是差分放大器 110 的增益。该读数对应于实际输入电压 HI-LO 与所编程的期望输入电压 V_{PED} 之间的差值或“残数”。通过将对应于 V_{PED} 的数值相加到该读数中可使该读数转换成输入电压 HI-LO 的测量值（并且对增益进行校正）。因此，例如，如果测量电路将读取 2.4 伏，其中 $G=100$ 且 $V_{PED}=1$ 伏，则由这些条件所隐含的实际输入电压将是 $1 \text{ 伏} + 2.4 \text{ 伏}/100 = 1.024$ 伏。

该测量电路可以制成非常精确，因为 V_{PED} 可以被精确地特征化并且可以是非常稳定的。但是，我们已经认识到，该测量电路具有误差，该误差不利地影响了其性能。例如，在差分放大器 110 中的偏移

电压误差包括测量电路中的误差。因为该残数通常是小电压，因此，希望以高增益来操作差分放大器 110，用以确保该残数足够大到能够被容易地测量。但是如所公知的，差分放大器的偏移误差随增益的增加而成比例地增加。

需要使用消隐源的测量电路，以产生大的残数信号，而不会不利地受到差分放大器中误差的影响。

发明内容

通过了解上述背景，本发明的一个目的是一种测量电路，其使消隐源，从而具有减小的误差。

为实现上述目的以及其他目的和优点，一种测量电路包括反馈放大器和差分放大器，其每一个都具有第一输入、第二输入和输出。反馈放大器的第一输入接收输入信号。差分放大器的第一输入联接于消隐源，并且差分放大器的第二输入联接于反馈放大器的输出。衰减器联接在差分放大器第一和第二输入之间并提供反馈信号，该反馈信号被传递到反馈电路的第二输入。

反馈放大器的操作有效地提升了残数信号，并且因此差分放大器操作在基本上降低的增益处，从而减小了整体电路误差。

附图说明

通过考虑以下描述和附图，本发明的其他目的、优点和新颖特征将变得显而易见，其中

图 1 是使用根据现有技术的消隐源的测量电路的框图；

图 2 是使用根据本发明的消隐源的改进测量电路的框图；

图 3 是图 2 的测量电路的简化示意；以及

图 4 包括根据本发明的测量电路的测试器的高级框图；

具体实施方式

图 2 示出了根据本发明的测量电路的示意性实施例。图 2 的测量电路的某些部分与图 1 的类似。例如，消隐源 212 类似于消隐源 112，加法器 214 类似于加法器 114，并且 ADC216 类似于 ADC116。此外，图 2 的差分放大器 210 类似于图 1 的差分放大器 110，除了差分放大器 210 优选地操作于基本较低增益。

图 2 的测量电路也产生“残数”，即表示输入电压（这里是 HI-LO）与消隐电压 V_{PED} 之间差的信号。但是，图 2 中产生的残数基本大于图 1 中产生的残数。在图 1 中，差分放大器 110 处理放大残数的所有任务，以提供能够被 ADC116 容易地测量的足够大的信号。但是，在图 2 中，差分放大器 110 和反馈电路共享这一任务。优选地，反馈电路提供用于放大残数的大部分或全部增益，而差分放大器提供相对少的增益。

反馈电路包括反馈放大器 220 和衰减器 222。衰减器 222 提供反馈信号给反馈放大器 220。衰减器 222 具有 $1/G$ 的额定衰减，这意味着反馈回反馈放大器 220 的电压为：

$$V_{-} + (V_{+} - V_{-}) / G$$

其中 V_{+} 和 V_{-} 分别是差分放大器 210 的非反相和反相输入。输入电压的 HI 侧施加到反馈放大器 220 的输入。同样，输入电压的 LO 侧添加到消隐电压且被施加到差分放大器 210 的反相输入。通过反馈放大器和衰减器的闭环操作，差分放大器 210 的非反相 (+) 输入被强制到等于以下项的电平：

$$HI + ((HI - (LO + V_{PED})) * (G - 1))$$

假设差分放大器 210 具有 1 的增益，则差分放大器的输出为：

$$\begin{aligned} V_{DIFF} &= V_{+} - V_{-} = HI + ((HI - LO - V_{PED})) * (G - 1) - (LO + V_{PED}) \\ &= G * ((HI - LO) - V_{PED}) \end{aligned}$$

$$= G * (\text{Residue})$$

该值精确地是所需的量，并且它是通过具有仅为 1 的增益的差分放大器 210 实现的。在测量该值后，可以计算实际输入电压 HI-LO，为 $V_{\text{PED}} + V_{\text{DIFF}}/G$ 。

其他的情况与之相同，图 2 的电路中的误差远低于图 1 中电路的误差。因为差分放大器的输出 V_{DIFF} 除以 G 来计算输入电压，因此差分放大器偏移电压对整个电路性能的影响可以忽略。反馈放大器 220 添加了一些偏移误差，但通过选择用于反馈放大器的低偏移运算放大器或通过将反馈放大器的偏移修整到近似零，该偏移误差是可以忽略的。

因此，图 2 的测量电路有效地将偏移误差源从差分放大器 210 转换到反馈放大器 220。这可能最初看起来不是显著的改进。但是，很多低偏移的运算放大器是商业上可获得的，而多数差分放大器具有相对大的偏移误差。因此，图 2 的测量电路允许通过容易获得的商业上元件取得更高的精度。

我们还发现，图 2 的测量电路具有低于图 1 拓扑结构的共模误差。尽管差分放大器的共模误差趋向于随着增益而改善，但它们不会改善得如同图 2 中电路中的那么多。例如，操作在 1000 增益的常规差分放大器的共模抑制比 (CMRR) 比操作在相同增益的图 2 测量电路的 CMRR 小约 35dB。

图 3 示出了图 2 测量电路的更为详细的实施例。在该示例性实施例中，可以看到，反馈放大器包括三个差分级：输入级 322、和反相器级 324 以及积分器级 326。该三个级中的每一个优选地通过分立的运算放大器 (op amp) 实现。用于输入级 322 的运算放大器优选地具有低偏移电压和高内在共模抑制比。用于积分器级 326 的运算放大器

具有输入电阻器 344、输入电容器 346 和反馈电容器 348，其共同对反馈放大器的开环增益和频率响应作出主要贡献。反相器级 324 具有输入和反馈电阻器 340 和 342，用于获得所需反相以建立适当反馈极性和提供附加开环增益。另一选择是，该反相器级可以省略，假设至输入级 322 的输入被倒转用以维持反馈的适当检测。

图 3 的衰减器优选通过电阻器对 328 和 330 来实现。这些电阻器之比设定了反馈放大器的增益(来自上述公式的“G”),其中电阻器 328 与电阻器 330 之比等于 $G-1$ 。

积分器级 326 改善了测量电路的精度。如所公知的，积分器在 DC 处具有极高的增益。因此，输入级 322 的输出仅需移动小的量来建立反馈放大器作为一个整体的任何所需输出电压。这一点是重要的，因为输入级 322 具有有限的开环增益，即它仅能够通过经历其非反相输入端和反相输入端之间的电压改变来改变其输出电压。因此，闭环操作期间，输出电压的改变有效地使电路经历了独立于输出的偏移误差，这反映在测量结果中。积分器级 326 通过确保输入级 322 的输出从未移动超过小的量，基本消除了该误差。

图 4 示出了其中可使用图 2 和图 3 的测试电路的典型测试环境。该测试环境包括自动测试系统 400，其具有测试计算机，用于运行测试程序(未示出)。该测试计算机控制诸如激励电路 414 和测量电路 416 的设备，用于运行待测试的设备或“DUT” 412。该测试电路包括在此处公开的以及图 2 和图 3 所示的测量电路。在测试程序的控制下，激励电路 414 施加预定的激励给 DUT412，而且测量电路 416 测量作为来自 DUT412 的响应的电压和/或电流。测试程序比较所测量的电压和/或电流与期望值。如果该读数是在期望值的可允许容差内，则测试程序通过。否则，测试程序失败。

图 4 的测试环境适用于其中制造诸如集成电路的电子电路的制造

环境。为节省制造成本，在制造过程的早期对器件进行测试，诸如在它们被封装前。通过测试程序的器件进入到随后的制造步骤，而测试失败的器件被丢弃。在该级别的测试使制造商防止了在注定要被丢弃的有缺陷器件上执行昂贵的制造步骤，并且因此降低了整体制造成本。此外，测试程序可以用于根据器件的性能来评级器件。满足较高标准的器件可以放到一边并且以高于那些执行较低标准的器件的价格出售。

替代方案

已描述了一个实施例，可以执行若干替代实施例或变化方案。如图 2 和 3 所示的测量电路被配置为接收具有 HI 输入和 LO 输入的差分输入电压。另一选择是，LO 输入可以接地，使得输入信号有效地成为信号末端。在此情况中，加法器 214/314 可以省略，并且消隐源可以直接联接于差分放大器 210/310。

名义上地，输入信号的 HI 侧比 LO 侧更为正向，但在测量电路设计中不会要求这一点。LO 侧可以比 HI 侧传递较为正向的电压，或反之亦然。

尽管图 2 和 3 所示的测量电路接收作为电压的输入信号（差分或信号末端），但不需要该电路用于仅测量来自待测试器件的电压。该测量电路还可以用于测量电流，例如，通过在 HI 和 LO 之间连接分流电阻器并且测量由流经该分流电阻器的电流所引入的电压。

通过参考本发明的优选实施例特别示出和描述了本发明，本领域普通技术人员应当理解，在不背离本发明的精神和范围的情况下，可以进行多种形式上和细节上的修改。

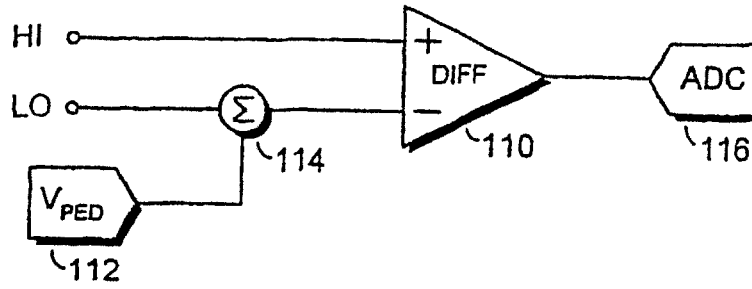


图1
现有技术

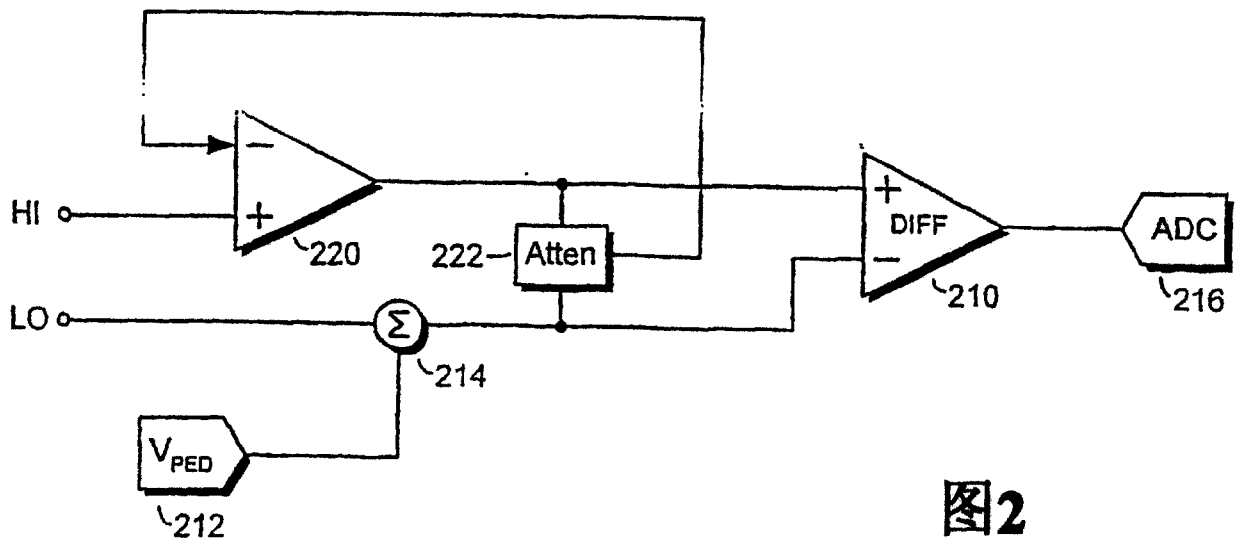


图2

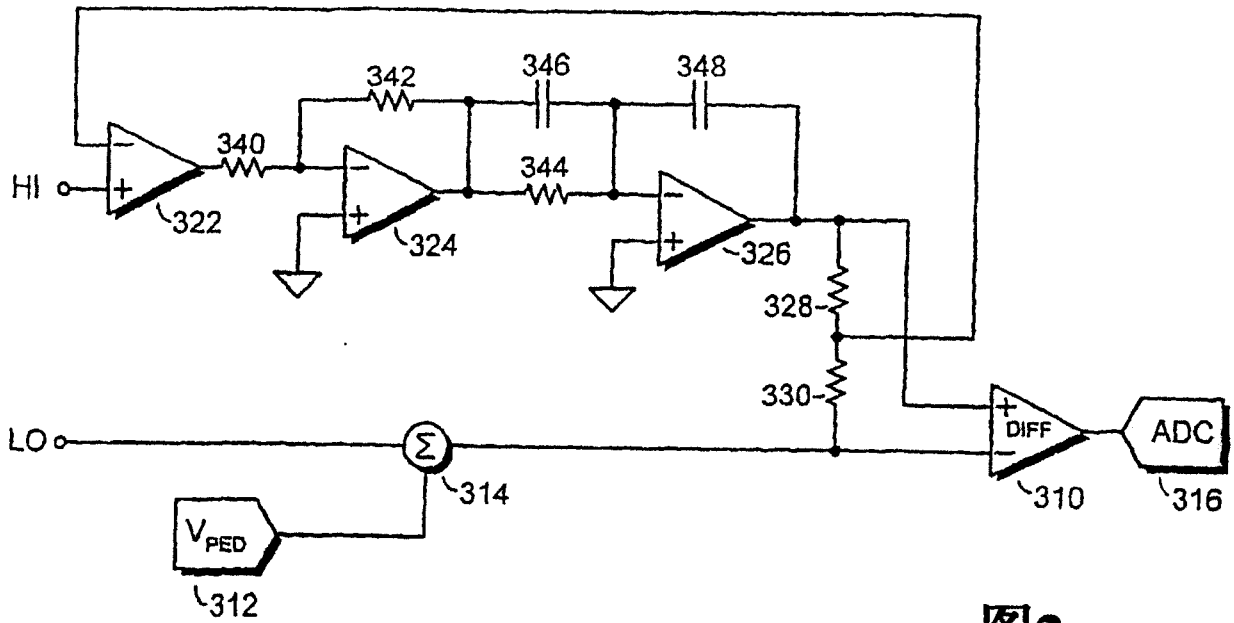


图3

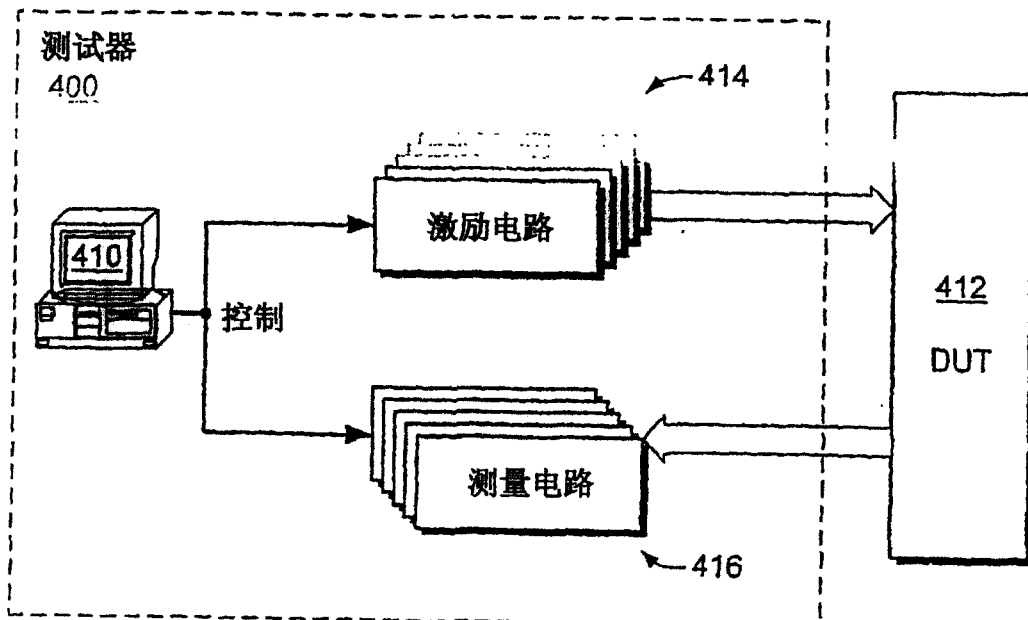


图4