(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105103483 A
(43)申请公布日 2015.11.25

(21)申请号 201580000489.5

(22)申请日 2015.01.16

(30)优先权数据
14/158768 2014.01.17 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.09.29

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/011807 2015.01.16

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2015/109222 EN 2015.07.23

(71)申请人 特克特朗尼克公司
地址 美国俄勒冈州

(72)发明人 K.J. 谢恩 J.N. 艾伦

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 周学斌 王传道

(51)Int.Cl.
H04L 1/24(2006.01)
G01R 31/317(2006.01)
H04L 1/20(2006.01)

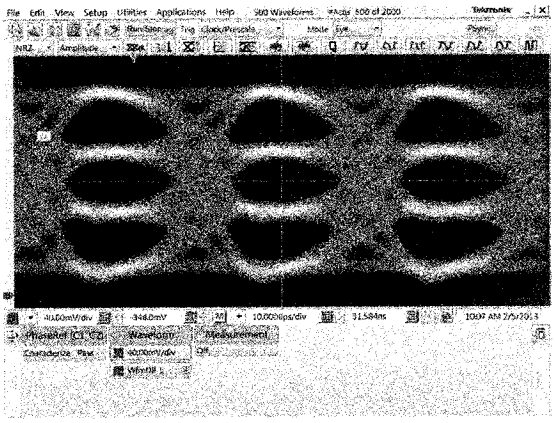
权利要求书3页 说明书8页 附图2页
按照条约第19条修改的权利要求书4页

(54)发明名称

脉冲幅度调制(PAM)比特错误测试和测量

(57)摘要

提供了方法和装置来检测多级被测信号的阈值错误。在本公开的一个方面,数位测试序列可以用于产生被测信号。在一个方面,数位测试序列可以被映射到M个二进制参考序列,其中M是大于一的整数。在一个方面,M个二进制参考序列中的每个可以与电压阈值相关联以及接收到的信号可以与每个阈值进行比特比较。在一个方面,当二进制参考序列的比特与对应的比特比较结果不匹配时阈值错误可以被计数。在一个方面,提供了一种仪器,其在一个采样时间将接收到的幅度与多个阈值相比较。



CN 105103483 A

1.一种使用错误检测器仪器来检测多级被测信号的阈值错误的方法，该方法包括：

将数位测试序列映射到M个二进制参考序列，其中M是大于一的整数，以及其中所述映射是无损的；

通信地耦合所述仪器的第一错误检测信道以接收被测信号；

利用第一电压阈值和M个二进制参考序列中的第一二进制参考序列来配置第一信道；

在第一起始时间通过将数位测试序列至少传送到第一信道来开始第一测试；

通过第一信道接收第一接收幅度；

在第一采样时间通过第一信道解析第一接收等级，其中当第一接收幅度大于第一阈值时第一信道将第一接收等级解析为第一二进制值以及当第一接收幅度小于第一阈值时将第一接收等级解析为第二二进制值；以及

如果第一接收幅度的第一接收等级与第一二进制参考序列的第一对应数位不匹配则对阈值错误进行计数，其中第一对应数位由所述映射定义。

2.根据权利要求1所述的方法，进一步包括：

利用第二电压阈值和M个二进制参考序列中的第二二进制参考序列来配置所述仪器的第一信道；

在第二起始时间通过将数位测试序列至少传送到第一信道来开始第二测试；

通过第一信道接收第二接收幅度；

在第二采样时间通过第一信道解析第二接收等级，其中当第二接收幅度大于第二阈值时第一信道将第二接收等级解析为第一二进制值以及当第二接收幅度小于第二阈值时将第二接收等级解析为第二二进制值；以及

如果第二接收幅度的第二接收等级与第二二进制参考序列的第二对应数位不匹配则对阈值错误进行计数，其中第二对应数位由所述映射定义。

3.根据权利要求1所述的方法，进一步包括：

通信地耦合第二错误检测信道以接收被测信号；

利用第二电压阈值和M个二进制参考序列的第二二进制参考序列来配置第二信道；

在第一起始时间将数位测试序列传送到第二信道；

通过第二信道接收第一接收幅度；

在第一采样时间通过第二信道解析第二接收等级，其中当第一接收幅度大于第二阈值时第二信道将第二接收等级解析为第一二进制值以及当第一接收幅度小于第二阈值时将第二接收等级解析为第二二进制值；以及

如果第一接收幅度的第二接收等级与第二二进制参考序列的第二对应数位不匹配则对阈值错误进行计数，其中第二对应数位由所述映射定义。

4.根据权利要求1所述的方法，其中利用第一电压阈值来配置所述仪器的第一错误检测信道包括下述中的一个：保持第一信道的默认阈值，设置第一信道的可配置阈值，以及将电压偏移应用到第一信道。

5.根据权利要求1所述的方法，进一步包括：

当阈值错误被计数时记录如下中的至少一个：第一接收等级的脉冲计数、第一采样时间、第一电压阈值、第一接收幅度和第一接收等级。

6.根据权利要求1所述的方法，进一步包括：

选择如下中的至少一个：新采样时间和新电压阈值；

重复配置、开始、接收、解析和计数的步骤，其中进行以下中的至少一个：第一采样时间被新采样时间代替以及第一电压阈值被新电压阈值代替；以及

在以下中的至少一个上标绘误码率：包括第一电压阈值和新电压阈值的电压阈值轴，和包括第一采样时间和新采样时间的相位延迟轴。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述多级信号包括连续时间信号，所述连续时间信号包括变化幅度的脉冲，其中脉冲幅度被定义为表示：当脉冲幅度既小于阿尔法阈值又小于贝塔阈值时的第一数位符号，当脉冲幅度小于阿尔法阈值且大于贝塔阈值时的第二数位符号，以及当脉冲幅度既大于阿尔法阈值又大于贝塔阈值时的第三数位符号。

8. 根据权利要求 1 所述的方法，进一步包括：

当阈值错误被计数并且针对第 P 接收幅度的符号错误尚未被计数时对第 P 接收幅度的符号错误进行计数。

9. 根据权利要求 1 所述的方法，进一步包括：

计算如下中的一个：通过将比特错误的总数量除以数位测试序列的比特的总数量来计算比特误码率，以及通过将符号错误的总数量除以数位测试序列的符号的总数量来计算符号误码率。

10. 根据权利要求 1 所述的方法，进一步包括：

基于如下中的至少一个来对由第 P 接收幅度生成的阈值错误进行分类：M 个二进制参考序列的第 P 个数位与 M 个二进制参考序列的第（P-1）个数位的比较，M 个二进制参考序列的第 P 个数位与 M 个二进制参考序列的第（P+1）个数位的比较，生成阈值错误的第 P 个符号的标识符，以及生成阈值错误的第 P 个采样时间。

11. 根据权利要求 1 所述的方法，进一步包括：

将第一二进制参考序列的第一对应数位逆映射到数位测试序列的原始符号。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，其中映射和逆映射的步骤计及被测信号的前向纠错方案。

13. 根据权利要求 12 所述的方法，进一步包括：

基于前向纠错方案是否能够纠正阈值错误来将由第 P 接收幅度生成的阈值错误进行分类。

14. 一种错误检测器仪器，包括：

至少一个输入，用以接收被测信号的接收幅度；

所述输入的阈值单元，用以存储定义至少三个电压范围的至少两个电压阈值；

符号单元，用以将唯一符号与每个电压范围相关联；

参考单元，用以存储包括符号序列的参考测试序列；

解析单元，用以在采样时间将接收幅度与电压阈值相比较以及将接收幅度解析为接收符号，其中接收符号是与接收幅度的电压范围相关联的唯一符号；以及

比较单元，其配置成将接收符号与参考测试序列的对应符号相比较以及如果接收符号与对应符号不匹配则对符号错误进行计数。

15. 根据权利要求 14 所述的仪器，进一步包括：

纠错单元，其配置成确定由第 P 接收幅度生成的符号错误是否能够由被测信号的前向

纠错方案所纠正。

16. 一种错误检测器仪器，包括：

至少一个输入信道，用以采样被测信号的接收幅度；

阈值单元，用以存储两个或更多电压阈值；

参考单元，用以将关联的二进制参考序列与每个电压阈值相关联；

解析单元，用以在采样时间将接收幅度与每个电压阈值进行比特比较以及将比特比较结果与每个电压阈值相关联；以及

比较单元，用以将每个电压阈值的比特比较结果与相关联的二进制参考序列的对应比特相比较以及如果比特比较结果与相关联的二进制参考序列的对应比特不匹配则对阈值错误进行计数。

17. 根据权利要求 16 所述的仪器，进一步包括：

纠错单元，其配置成确定由第 P 接收幅度生成的阈值错误是否能够由被测信号的前向纠错方案所纠正。

脉冲幅度调制(PAM)比特错误测试和测量

技术领域

[0001] 本公开涉及测试和测量以及尤其涉及多级和脉冲幅度调制(PAM)的信号的测试和测量。

背景技术

[0002] 错误检测器(ED)仪器可以测量和表征通信信号中的错误。大多数ED设备是针对被编码成两个(二进制)稳定幅度的脉冲的数据而设计的。大多数ED设备被设计为在给定瞬间将采样信号与仅一个阈值进行比特比较(bit-compare)。相比之下,脉冲幅度调制(PAM)将数据编码成M+1个稳定幅度的脉冲,其中M+1可以大于2。在PAM信号中的错误检测因此使新测试仪器和新测试方法成为必要。

发明内容

[0003] 本文公开了使用ED仪器来测试和测量PAM被测信号(SUT)的阈值错误、符号错误和比特错误的方法。在一个实施例中,一种方法包括定义从数位测试序列到M个二进制参考序列的无损映射,其中M是大于一的整数。例如,在数位测试序列被脉冲幅度调制编码之前该数位测试序列可以是测试模式,以及M个二进制参考序列可以定义PAM编码的测试模式的每个脉冲与将PAM调制的M+1个稳定幅度分离的M个电压阈值的关系。该方法的另一个步骤可以包括利用第一电压阈值和M个二进制参考序列的第一二进制参考序列来配置ED仪器的第一错误检测信道。例如,第一电压阈值可以是将PAM调制的M+1个稳定幅度分离的M个电压阈值中的第一个,以及第一二进制参考序列可以定义PAM调制的测试模式与第一阈值的关系。该方法的另一个步骤可以包括通信地耦合第一信道以接收被测信号。进一步的步骤可以包括将数位测试序列至少传送到第一信道,接收第一接收幅度,基于接收幅度的与第一电压阈值的比特比较关系来将第一接收幅度解析为第一接收等级,以及如果第一接收等级与由映射定义的第一二进制参考序列的对应数位不匹配,则对阈值错误进行计数。

[0004] 本文还公开了一种用于测试和测量多级或PAM被测信号的阈值错误、符号错误和比特错误的ED仪器。在一个实施例中,ED仪器在一个采样时间或利用一个采样来将接收脉冲与多个阈值同时进行比较。

附图说明

[0005] 当连同附图一起阅读时前述概要以及下面的详细描述会被更好地理解。附图图示了本公开,然而,本发明并不限于所绘制或公开的具体方法和仪器。在附图中:

图1示出了重复采样的PAM-4信号。

[0006] 图2示出了对于PAM-4信号的三个二进制参考序列的比特误码率相对相位延迟的曲线图,其中三角形符号表示第一二进制参考序列,菱形符号表示第二二进制参考序列,以及正方形符号表示第三二进制参考序列。

具体实施方式

[0007] 多级信号或脉冲幅度调制可以用于将数位数据转化成用于传输的连续时间信号。PAM 调制的数据包括脉冲，其中脉冲幅度携带数位数据的信息。PAM 调制可以与其他编码、调制、错误检测和错误纠正方案相结合。

[0008] 可以使用简单或复杂的算法来将数位数据映射到 M 个二进制数位序列中，其中 M 大于一以及映射是无损的。数位数据的 PAM 编码可以包括将数位符号的序列映射到 M+1 个幅度，以使得与将 M+1 个幅度分离的 M 个阈值相比，每个数位符号可以由它在连续时间传输中的时间位置和它的幅度来唯一定义。在一个实施例中，多级信号包括连续时间信号，其包括变化幅度的脉冲，其中脉冲幅度被定义为：当脉冲幅度既小于阿尔法(alpha)阈值又小于贝塔(beta)阈值时表示第一数位符号，当脉冲幅度小于阿尔法阈值且大于贝塔阈值时表示第二数位符号，以及当脉冲幅度既大于阿尔法阈值又大于贝塔阈值时表示第三数位符号。附加的阈值可以用于定义附加的数位符号。

[0009] 例如，由符号 a、b、c 和 d 组成的数位数据可以通过由第一、第二和第三电压阈值(例如 -5V、0V、+5V)定义的 4 级 PAM (PAM-4)编码来表示，其中 a 被定义为例如小于第一阈值、第二阈值和第三阈值的幅度；b 被定义为例如大于第一阈值且小于第二阈值和第三阈值的幅度；c 被定义为例如大于第一阈值和第二阈值且小于第三阈值的幅度；以及 d 被定义为例如大于第一阈值、第二阈值和第三阈值的幅度。图 1 图示了已经使用数据速率触发水平扫描所重复采样的接收到的 PAM4 信号。在这个示例中，如果“小于”被表示为 0 以及“大于”被表示为 1，那么由“aabbccdd”组成的数位测试序列可以被映射到三个二进制参考序列，其列举了数位测试序列的每个符号与三个阈值的关系：“00111111”针对第一阈值，“00001111”针对第二阈值，以及“00000011”针对第三阈值。在这个示例中，从数位测试序列到三个二进制参考序列的映射是无损的，因为当数位测试序列被映射到三个二进制阈值时没有信息损失。在这个示例中，在数位测试序列“aabbccdd”的八个符号和每个二进制参考序列的八个数位之间存在一对一映射，以及在二进制参考序列中数位的顺序与在数位测试序列中符号的顺序相同。因此，在这个示例中，映射是退化的以及在一些实施例中映射可以利用无效的、隐含的或默认的映射来实施。

[0010] 在一个实施例中，二进制参考序列的一些数位可以是冗余的。在 PAM-4 示例中，如果脉冲幅度被确定为小于最低电压阈值(例如第一电压阈值)，则测试幅度是否小于其他电压阈值是多余的。此外，如果二进制参考序列揭示出数位测试序列的一个符号中的错误，则在相同符号中在找到附加错误方面可能存在有限的价值，除非符号错误的大小是有价值的。在一个实施例中，二进制参考序列可以包括用以指示比特比较在何时可能不必要的手段。例如，在二进制参考序列中的 X 可以指示不必要的比特比较(例如，针对第一阈值的“0011XXXX”)。

[0011] 在另一个示例中，由符号 00、01 和 10 组成的数位数据可以通过由第一电压阈值和第二电压阈值(例如 0V、+3.3V)定义的 3 级 PAM (PAM-3)编码来表示，其中例如 00 被定义为例如小于第一阈值和第二阈值的幅度；01 被定义为例如大于第一阈值且小于第二阈值的幅度；以及 10 被定义为例如大于第一阈值和第二阈值的幅度。在这个示例中，如果“小于”再次被表示为 0 以及“大于”再次被表示为 1，那么由“00010110”组成的数位测试序

列可以被映射到两个二进制参考序列，其列举了数位测试序列的每个符号与两个阈值的关系：“0111”针对第一阈值，以及“0001”针对第二阈值。在这个示例中，从数位测试序列到三个二进制参考序列的映射是无损的，因为当数位测试序列被映射到三个二进制阈值时没有信息损失。然而，如果符号 11 是数位数据的元素以及数位测试序列是“11001100”，那么从数位测试序列到二进制参考序列的映射将不是无损的，因为数位测试序列在没有进一步的映射指令的情况下不能被映射。此外，在这个示例中，在数位测试序列“00010110”的四个符号和每个二进制参考序列的四个数位之间存在一对一映射以及在二进制参考序列中数位的顺序与在数位测试序列中符号的顺序相同。因此，在这个示例中，映射是退化的以及在一些实施例中映射可以利用无效的、隐含的或默认的映射来实施。

[0012] 在又一个实例中，由八进制符号 0、1、2、3、4、5、6 和 7 组成的数位数据可以通过由第一到第七电压阈值定义的 8 级 PAM（PAM-8）编码来表示，其中每个符号被编码为仅大于直到具有与该符号相同的八进制名称的一个阈值为止的所有阈值的幅度（例如 0 被编码为小于所有阈值的幅度，例如 2 被编码为仅大于第一阈值和第二阈值的幅度，以及 6 被编码为仅大于第一阈值到第六阈值的幅度）。在这个示例中，尽管如此，使用了前向纠错方案，因此八进制数据未按符号的顺序来调制。在这个示例中，从左到右移动经过数位测试序列，每四个符号字（symbol word）被调制三次，首先以从左到右的顺序，然后以从右到左的顺序，然后以第一 / 第三 / 第二 / 第四的顺序。因此，如果“小于”再次被表示为 0 以及“大于”再次被表示为 1，那么由“02461357”组成的二字数位测试序列可以被映射到列举了数位测试序列的每个符号与使用所描述映射的七个阈值的关系的七个二进制参考序列：“01111110011111111111111”针对第一阈值，

“01111110011101111100111”针对第二阈值，

“00111100010101111100111”针对第三阈值，

“00111100010100111100101”针对第四阈值，

“00011000000100111100101”针对第五阈值，

“00011000000100111100101”针对第六阈值，以及“000000000000000110000001”针对第七阈值。在这个示例中，符号是以如下顺序被 PAM 调制的：“02466420042613577531537”。在这个示例中，映射是无损的，因为当数位测试序列被映射到七个二进制阈值时没有信息损失。在这个示例中，在数位测试序列“02461357”的八个符号和每个二进制参考序列的二十四个数位之间没有一对一映射，以及在二进制参考序列中数位的顺序与在数位测试序列中符号的顺序不相同。

[0013] 在一个实施例中，使用错误检测器（ED）仪器来检测多级被测信号的阈值错误的方法包括将数位测试序列映射到 M 个二进制参考序列，其中 M 是大于一的整数。在一个实施例中，映射是无损的。在一个实施例中，随着被测设计产生被测信号，映射可以重复由被测设计实施的调制。在一个实施例中，M 个二进制参考序列可以充当用于使用比特（即二进制）比较来实行错误检测的 ED 仪器的参考测试模式。在一个实施例中，M 个二进制参考序列例如可以为了压缩而被编码。

[0014] 在一个实施例中，该方法可以进一步包括利用第一电压阈值和 M 个二进制参考序列的第一二进制参考序列来配置 ED 仪器的第一错误检测信道。在上述 PAM-4 示例中，ED 仪器的第一错误检测信道可以利用第一电压阈值（例如 -5V）和第一二进制参考序列（例如

“00111111”)来配置。继续PAM-4示例,第一信道可以将PAM-4调制的数位测试模式(例如“aabbccdd”)与第一电压阈值相比较,当接收到的PAM脉冲超过阈值时记录1以及当调制的脉冲未超过阈值时记录0,以及将结果得到的比特模式与第一二进制参考序列(例如“00111111”)进行比特比较。在这个示例中,第一二进制参考序列(例如“00111111”)可以充当针对第一信道的参考测试模式以及如果由阈值比较产生的任意比特结果与参考测试模式的对应比特不相同,则阈值错误可以被记录。在这个示例中,ED仪器(同样的仪器或不同的仪器)的第二错误检测信道可以利用第二电压阈值(例如0V)和第二二进制参考序列来配置;以及ED仪器(同样的仪器或不同的仪器)的第三错误检测信道可以利用第三电压阈值(例如5V)和第三二进制参考序列来配置。在一个实施例中,利用第一电压阈值来配置仪器的第一错误检测信道可以包括保持第一信道的默认阈值。在一个实施例中,利用第一电压阈值来配置仪器的第一错误检测信道可以包括设置第一信道的可配置阈值。在一个实施例中,利用第一电压阈值来配置仪器的第一错误检测信道可以包括将电压偏移应用到第一信道。

[0015] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括通信地耦合第一信道以接收被测信号。在一个实施例中,PAM被测信号可以被配置为对第一信道的输入。

[0016] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括在第一起始时间通过将数位测试序列至少传送到第一信道来开始第一测试。在一个实施例中,作为传送数位测试序列的一部分,数位测试序列可以被PAM编码。在一个实施例中,开始序列或同步信号可以先于每个测试的开始。在一个实施例中,当传送被测信号时,被测信号可能受到噪声的影响。

[0017] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括通过第一信道接收第一接收幅度。在上述PAM-4示例中,第一信道可以接收包括PAM脉冲的被测信号(例如,符号“a”被调制到小于第一阈值、第二阈值和第三阈值的幅度以及因此被调制到小于-5V的幅度)。

[0018] 在一个实施例中,方法可以进一步包括在第一采样时间通过第一信道解析第一接收等级,其中当第一接收幅度大于第一阈值时第一信道将第一接收等级解析为第一二进制值,以及当第一接收幅度小于第一阈值时将第一接收等级解析为第二二进制值。在上述PAM-4示例中,“小于”被表示为0以及“大于”被表示为1,所以在时间“t”,第一信道将具有小于-5V的幅度脉冲解析为0。

[0019] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括如果第一接收幅度的第一接收等级与第一二进制参考序列的第一对应数位不匹配,则对被测信号的阈值错误进行计数,其中第一对应数位由映射来定义。在上述PAM-4示例中,当配置到第一信道的第一二进制参考序列是“00111111”时,如果第一信道使用第一电压阈值将被测信号解析为“0011<u>0</u>111”,那么阈值错误可以被记录。在一个实施例中,当阈值错误被计数但数位测试序列的每个符号仅一个错误被计数时,符号错误可以被计数。继续PAM-4示例,当配置到第二信道的第二二进制参考序列是“00001111”时,如果第二信道使用第二电压阈值将被测信号解析为“0000<u>0</u>111”,那么另一个符号错误可以不被记录。在一个实施例中,当在数位测试序列的每个符号中固有的信息的每个比特仅一个错误被计数时,错误可以是比特错误。继续PAM-4示例,当两个阈值错误针对相同符号被计数时,至少一个比特错误可以被计数,但是在没有符号的比特编码的知识的情况下,第二比特错误一般可以不被计数。在一个实施例中,信道可以利用比特编码知识来配置。符号误码率可以通过将错误地接收到的符号的数量除以所

传输的符号的数量来计算。比特误码率可以通过将错误地接收到的比特的数量除以所传输的比特的数量来计算。继续 PAM-4 示例，如果除了在上文由第一信道计数的一个错误外没有错误，那么该测试的符号误码率可以是 1/8 以及比特误码率可以是 1/16。

[0020] 在一个实施例中，该方法可以进一步包括利用第二电压阈值和 M 个二进制参考序列中的第二二进制参考序列来配置仪器的第一信道。在一个实施例中，该方法可以进一步包括在第二起始时间通过将数位测试序列至少传送到第一信道来开始第二测试。在一个实施例中，该方法可以进一步包括通过第一信道接收第二接收幅度。在一个实施例中，第一信道可以用于将被测信号与第一电压阈值相比较，然后被测信号可以被再次接收以及第一信道可再次用于将被测信号与第二电压阈值相比较。在一个实施例中，如果存在随机噪声，则由第一信道所接收的被测信号在两次运行之间可以略有变化，意味着在两次运行中测量的阈值错误可能不是完全相关的。

[0021] 在一个实施例中，该方法可以进一步包括在第二采样时间通过第一信道解析第二接收等级，其中当第二接收幅度大于第二阈值时第一信道将第二接收等级解析为第一二进制值以及当第二接收幅度小于第二阈值时将第二接收等级解析为第二二进制值。在一个实施例中，该方法可以进一步包括如果第二接收幅度的第二接收等级与第二二进制参考序列的第二对应数位不匹配，则对阈值错误进行计数，其中第二对应数位由映射定义。在 PAM-4 示例中，第一信道可以利用第二电压阈值（例如 0V）和第二二进制参考序列（例如“00001111”）先于第二测试来重新配置，以及如果第一信道将被测信号解析为“01001111”，那么可以对阈值错误进行计数。在一个实施例中，如果适当的话，符号错误和比特错误也可以被计数。

[0022] 在一个实施例中，该方法可以进一步包括利用第二电压阈值和 M 个二进制参考序列的第二二进制参考序列来配置第二错误检测信道。在一个实施例中，该方法可以进一步包括通信地耦合第二信道以接收被测信号。在一个实施例中，该方法可以进一步包括在第一起始时间将数位测试序列传送到第二信道。在一个实施例中，该方法可以进一步包括通过第二信道接收第一接收幅度。在一个实施例中，第一信道可以用于将被测信号与第一电压阈值相比较以及（相同或不同仪器的）第二信道可以同时用于将被测信号与第二电压阈值相比较。

[0023] 在一个实施例中，该方法可以进一步包括在第一采样时间通过第二信道解析第二接收等级，其中当第一接收幅度大于第二阈值时第二信道将第二接收等级解析为第一二进制值以及当第一接收幅度小于第二阈值时将第二接收等级解析为第二二进制值。在一个实施例中，该方法可以进一步包括如果第一接收幅度的第二接收等级与第二二进制参考序列的第二对应数位不匹配，则对阈值错误进行计数，其中第二对应数位由映射定义。在 PAM-4 示例中，第二信道可以利用第二电压阈值（例如 0V）和第二二进制参考序列（例如“00001111”）来配置，以及如果第二信道将被测信号解析为“01001111”，则可以对阈值错误进行计数。在一个实施例中，如果适当的话，符号错误和比特错误也可以被计数。

[0024] 在一个实施例中，该方法可以进一步包括当阈值错误被计数时记录如下中的至少一个：第一接收等级的脉冲计数、第一采样时间、第一电压阈值、第一接收幅度和第一接收等级。记录这样的信息可以使得由用户进行有用的分析成为可能。在上述 PAM-4 示例中，当配置到第一信道的第一二进制参考序列是“00111111”时，如果第一信道使用第一电压阈

值(例如 -5V)将被测信号解析为“0011Q111”,那么接收到的错误的脉冲计数(例如 5)可以被记录,第五脉冲的采样时间可以被记录,电压阈值(例如 -5V)可以被记录,接收到的幅度可以被记录(例如 -7.5V)以及接收到的等级可以被记录(例如 0)。

[0025] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括 :选择如下中的至少一个 :新采样时间和新电压阈值 ;重复配置、开始、接收、解析和计数的步骤,其中进行如下中的至少一个 :第一采样时间被新采样时间代替以及第一电压阈值被新电压阈值代替 ;以及在以下中的至少一个上标绘误码率 :包括第一电压阈值和新电压阈值的电压阈值轴,和包括第一采样时间和新采样时间的相位延迟轴(例如图 1)。在一个实施例中,阈值电压和采样时间(即相位)两者都可以进行变化以作为阈值电压和相位两者的函数来创建符号误码率或比特误码率的轮廓曲线图。

[0026] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括当阈值错误被计数以及针对第 P 接收幅度的符号错误尚未被计数时对第 P 接收幅度的符号错误进行计数。在上述 PAM-4 示例中,当配置到第一信道的第一二进制参考序列是“00111111”时,如果第一信道使用第一电压阈值将被测信号解析为“0011Q111”,那么阈值错误可以被记录。继续该示例,当配置到第二信道的第二二进制参考序列是“00001111”时,如果第二信道使用第二电压阈值将被测信号解析为“0000Q111”,那么另一个符号错误可以不被记录。在这个示例中,当第五接收幅度在第一信道中生成阈值错误时,符号错误可以被计数,但当第五接收幅度在第二信道中生成阈值错误时,另一个符号错误可以不被计数。

[0027] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括计算如下中的一个 :通过将比特错误的总数量除以数位测试序列的比特的总数量来计算比特误码率,以及通过将符号错误的总数量除以数位测试序列的符号的总数量来计算符号误码率。

[0028] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括基于以下中的至少一个来对由第 P 接收幅度生成的阈值错误进行分类 :M 个二进制参考序列的第 P 个数位与 M 个二进制参考序列的第(P-1)个数位的比较,M 个二进制参考序列的第 P 个数位与 M 个二进制参考序列的第(P+1)个数位的比较,生成错误的第 P 个符号的标识符,以及生成错误的第 P 个采样时间。在 PAM-4 示例中,如果针对第五接收幅度来对阈值错误进行计数,那么该阈值错误可以基于 M 个二进制参考序列的第四个数位相对第五个数位或者第五个数位相对第六个数位的比较来进行分类。例如,如果所有 M 个二进制参考序列具有不同的第四个数位和第五个数位,那么在被测信号的第四幅度和第五幅度之间存在较大转变,以及较大转变可以是更易于出现阈值错误的。在这个示例中,用户可能希望基于在阈值错误之前或之后的幅度转变的大小、第 P 个(例如第五个)符号的标识符或第五个采样的采样时间来对阈值错误进行分类。

[0029] 在一个实施例中,该方法可以进一步包括将第一二进制参考序列的第一对应数位逆映射到数位测试序列的原始符号。在 PAM-8 示例中,逆映射可以将例如第一二进制参考序列(例如“0111L1100111111111111111”)的第五数位映射到数位测试序列(例如“0246J1357”)的原始符号。在一个实施例中,映射和逆映射可以是完全相同的。在一个实施例中,逆映射可以是逻辑、算法、软件程序、宏、可选择的替代方式、数据库、表、列表或用于描述逆映射的另一个符号手段。在一个实施例中,逆映射可以是列表,其中对于二进制参考序列的每个数位,存在指示在数位测试序列中它的原始符号的顺序位置的对应数位。在 PAM-8 示例中,用于第一二进制参考序列的逆映射可以是例

如“123443211324567887655768”。在PAM-8示例中，在理解到该模式被应用于所有的二进制参考序列以及被循环重复的情况下，用于二进制参考序列的替代逆映射可以是例如“123443211324”。在一个实施例中，映射和逆映射计及被测信号的前向纠错方案。在PAM-8示例中，每四个符号字被调制三次，其中可以有采用冗余来纠正传输错误的前向纠错方案。

[0030] 在一个实施例中，该方法可以进一步包括基于前向纠错方案是否能够纠正错误来对由第P接收幅度生成的阈值错误进行分类。在PAM-8示例中，当第一二进制参考序列是“0111$\underline{1}$1100111111111111111”时，如果第一信道接收例如“0111$\underline{0}$1100111111111111111”，那么阈值错误可以被分类为经纠正的或未经纠正的，因为符号(例如6)的两个其他正确传输可以用来纠正该错误。

[0031] 错误检测器仪器可以用来实施所公开的方法。在一个实施例中，用于检测多级被测信号的阈值错误的错误检测器仪器可以包括：至少一个输入，用以接收被测信号的接收幅度；该输入的阈值单元，用以存储定义至少三个电压范围的至少两个电压阈值；符号单元，用以将唯一符号与每个电压范围相关联；参考单元，用以存储包括符号序列的参考测试序列；解析单元，用以在采样时间将接收幅度与电压阈值相比较以及将接收幅度解析为接收符号，其中接收符号是与接收幅度的电压范围相关联的唯一符号；以及比较单元，其配置成将接收符号与参考测试序列的对应符号相比较以及如果接收符号与对应符号不匹配则对符号错误进行计数。

[0032] 在一个实施例中，用于检测多级被测信号的阈值错误的错误检测器仪器可以包括：至少一个输入信道，用以采样被测信号的接收幅度；阈值单元，用以存储两个或多个电压阈值；参考单元，用以将二进制参考序列与每个电压阈值相关联；解析单元，用以在采样时间将接收幅度与每个电压阈值进行比特比较以及将比特比较结果与每个电压阈值相关联；以及比较单元，用以将每个电压阈值的比特比较结果与相关联的二进制参考序列的对应比特相比较以及如果比特比较结果与相关联的二进制参考序列的对应比特不匹配则对错误进行计数。

[0033] 在一个实施例中，仪器传感器、ADC、信号分离器(demultiplexer)、存储装置和分析装置可以被同步以使得两个或更多阈值可以同时地与接收幅度相比较或比特比较。在一个实施例中，一个时钟输入可以被共享以使得两个或更多阈值可以同时与接收幅度相比较或比特比较。在一个实施例中，一个信号输入可以被共享以使得两个或更多阈值可以同时与接收幅度相比较或比特比较。在一个实施例中，仪器的存储器可以存储逆映射，其中逆映射指示与接收符号相对应的参考测试序列的符号。在一个实施例中，仪器进一步包括纠错单元，其配置成确定由第P接收幅度生成的符号错误或阈值错误是否能够由被测信号的前向纠错方案所纠正。

[0034] 本发明的范围并未限定于本文所公开实施例。例如，前述公开决不应该被解释到下述程度：限定了权利要求的保护范围或者以其他方式暗示说明性实施例的发明性方面被限于所公开的特定方法和装置。此外，如将会被本领域技术人员所理解的，本文所公开的许多发明性方面可以通过使用并未在本文所讨论的实施例中结合的测试和测量技术来应用。在许多情况下，本文所描述的实现地点(即功能元件)仅是设计者的偏号并且并非硬性要求。因此，除了权利要求可能被明确地如此限定之外，权利要求的保护范围并未意图被限于以上所描述的具体实施例。此外，如在本公开中使用的，连接词“或”可以是包括性的或

排除性的。

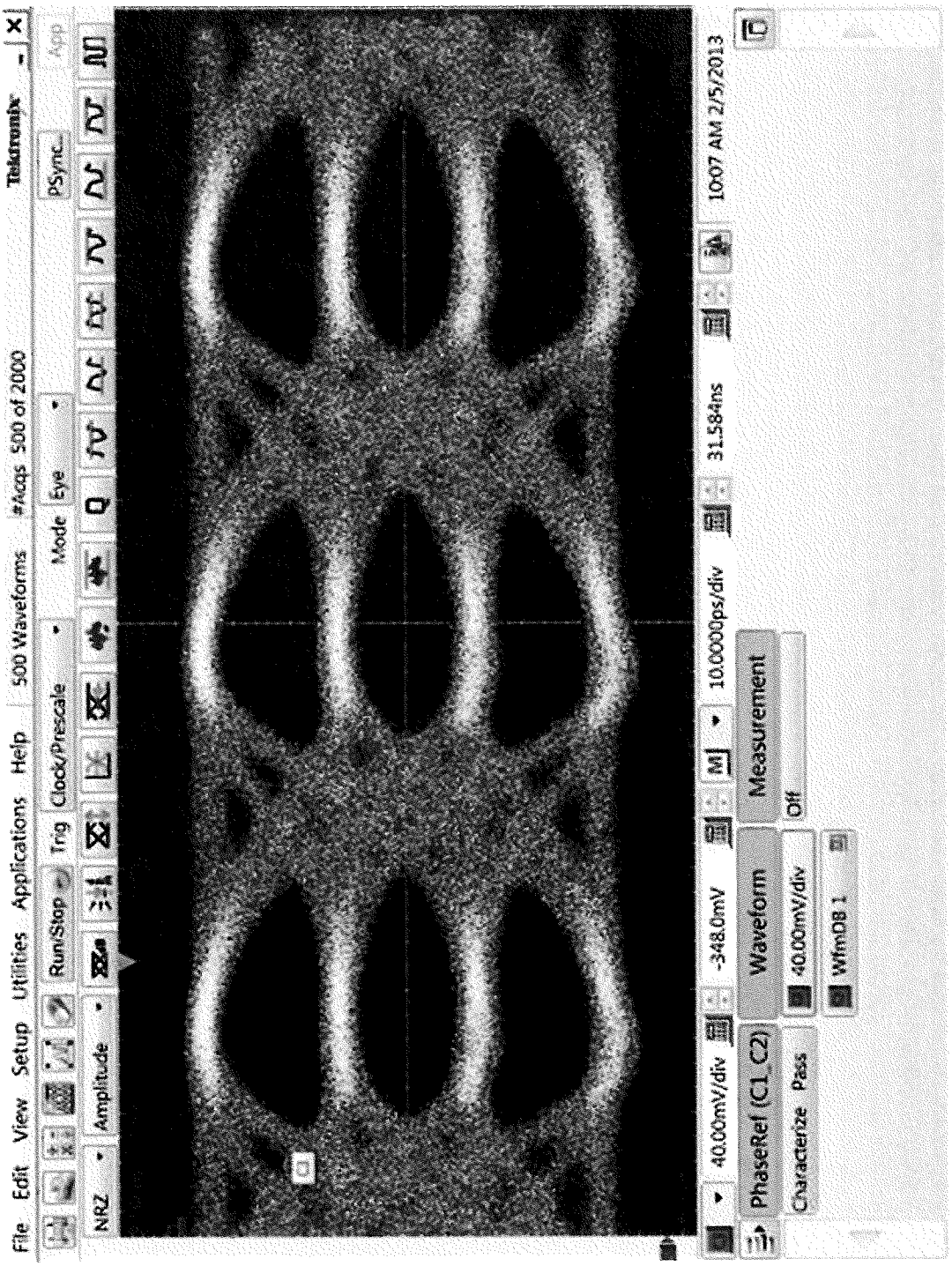

File Edit View Setup Utilities Applications Help
500 Waveforms
#Acqs 500 of 2000
Tektronix
NRZ
Amplitude
Run/Stop
Trig
Clock/Prescale
Mode
Eye
PSync
App
40.00mV/div
-348.0mV
10.0000ps/div
31.584ns
10:07 AM 2/5/2013
PhaseRef (C1_C2)
Waveform
Measurement
Characterize
Pass
40.00mV/div
Off
WfmDB 1

图 1

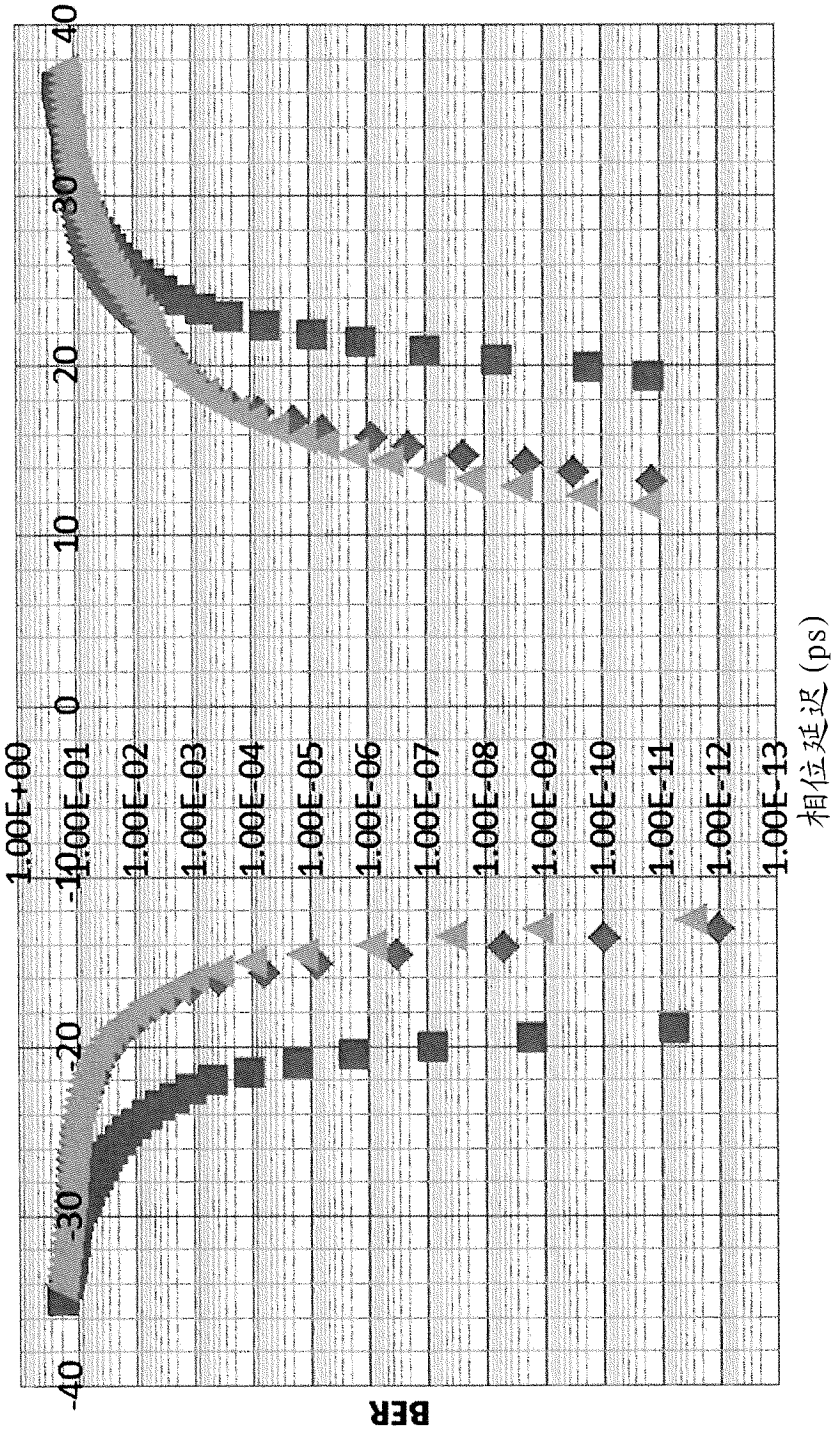

40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
1.00E+00
1.00E-01
1.00E-02
1.00E-03
1.00E-04
1.00E-05
1.00E-06
1.00E-07
1.00E-08
1.00E-09
1.00E-10
1.00E-11
1.00E-12
1.00E-13
BER
相位延迟(ps)

图 2

1.一种使用错误检测器仪器来检测多级被测信号的阈值错误的方法，该方法包括：

将数位测试序列映射到M个二进制参考序列，其中M是大于一的整数，以及其中所述映射是无损的；

通信地耦合所述仪器的第一错误检测信道以接收被测信号；

利用第一电压阈值和M个二进制参考序列中的第一二进制参考序列来配置第一信道；

在第一起始时间通过将被测信号至少传送到第一信道来开始第一测试；

通过第一错误检测信道接收被测信号的第一接收幅度；

在第一采样时间通过第一错误检测信道解析第一接收等级，其中当第一接收幅度大于第一阈值时第一信道将第一接收等级解析为第一二进制值以及当第一接收幅度小于第一阈值时将第一接收等级解析为第二二进制值；以及

如果第一接收幅度的第一接收等级与第一二进制参考序列的第一对应数位不匹配则对阈值错误进行计数，其中第一对应数位由所述映射定义；

利用第二电压阈值和M个二进制参考序列中的第二二进制参考序列来配置所述仪器的第一错误检测信道；

在第二起始时间通过将数位测试序列至少传送到第一错误检测信道来开始第二测试；

通过第一信道接收被测信号的第二接收幅度；

在第二采样时间通过第一信道解析第二接收等级，其中当第二接收幅度大于第二阈值时第一信道将第二接收等级解析为第一二进制值以及当第二接收幅度小于第二阈值时将第二接收等级解析为第二二进制值；以及

如果第二接收幅度的第二接收等级与第二二进制参考序列的第二对应数位不匹配则对阈值错误进行计数，其中第二对应数位由所述映射定义。

2.一种使用错误检测器仪器来检测多级被测信号的阈值错误的方法，该方法包括：

将数位测试序列映射到M个二进制参考序列，其中M是大于一的整数，以及其中所述映射是无损的；

通信地耦合所述仪器的第一错误检测信道以接收被测信号；

利用第一电压阈值和M个二进制参考序列中的第一二进制参考序列来配置第一错误检测信道；

在第一起始时间通过将被测信号至少传送到第一错误检测信道来开始第一测试；

通过第一信道接收被测信号的第一接收幅度；

在第一采样时间通过第一信道解析第一接收等级，其中当第一接收幅度大于第一阈值时第一信道将第一接收等级解析为第一二进制值以及当第一接收幅度小于第一阈值时将第一接收等级解析为第二二进制值；以及

如果第一接收幅度的第一接收等级与第一二进制参考序列的第一对应数位不匹配则对阈值错误进行计数，其中第一对应数位由所述映射定义；

通信地耦合第二错误检测信道以接收被测信号；

利用第二电压阈值和M个二进制参考序列的第二二进制参考序列来配置第二信道；

在第一起始时间将被测信号传送到第二信道；

通过第二错误检测信道接收第一接收幅度；

在第一采样时间通过第二错误检测信道解析第二接收等级，其中当第一接收幅度大于第二阈值时第二信道将第二接收等级解析为第一二进制值以及当第一接收幅度小于第二阈值时将第二接收等级解析为第二二进制值；以及

如果第一接收幅度的第二接收等级与第二二进制参考序列的第二对应数位不匹配则对阈值错误进行计数，其中第二对应数位由所述映射定义。

3. 根据权利要求 1 或 2 或 5 所述的方法，其中利用第一电压阈值来配置所述仪器的第一错误检测信道包括下述中的一个：保持第一信道的默认阈值，设置第一信道的可配置阈值，以及将电压偏移应用到第一信道。

4. 根据权利要求 1 或 2 或 5 所述的方法，进一步包括：

当阈值错误被计数时记录如下中的至少一个：第一接收等级的脉冲计数、第一采样时间、第一电压阈值、第一接收幅度和第一接收等级。

5. 一种使用错误检测器仪器来检测多级被测信号的阈值错误的方法，该方法包括：

将数位测试序列映射到 M 个二进制参考序列，其中 M 是大于一的整数，以及其中所述映射是无损的；

通信地耦合所述仪器的第一错误检测信道以接收被测信号；

利用第一电压阈值和 M 个二进制参考序列中的第一二进制参考序列来配置第一错误检测信道；

在第一起始时间通过将被测信号至少传送到第一信道来开始第一测试；

通过第一错误检测信道接收第一接收幅度；

在第一采样时间通过第一错误检测信道解析第一接收等级，其中当第一接收幅度大于第一阈值时第一错误检测信道将第一接收等级解析为第一二进制值以及当第一接收幅度小于第一阈值时将第一接收等级解析为第二二进制值；以及

如果第一接收幅度的第一接收等级与第一二进制参考序列的第一对应数位不匹配则对阈值错误进行计数，其中第一对应数位由所述映射定义；

选择如下中的至少一个：新采样时间和新电压阈值；

重复配置、开始、接收、解析和计数的步骤，其中进行以下中的至少一个：第一采样时间被新采样时间代替以及第一电压阈值被新电压阈值代替；以及

在以下中的至少一个上标绘误码率：包括第一电压阈值和新电压阈值的电压阈值轴，和包括第一采样时间和新采样时间的相位延迟轴。

6. 根据权利要求 1 或 2 或 5 所述的方法，其中所述多级信号包括连续时间信号，所述连续时间信号包括变化幅度的脉冲，其中脉冲幅度被定义为表示：当脉冲幅度既小于阿尔法阈值又小于贝塔阈值时的第一数位符号，当脉冲幅度小于阿尔法阈值且大于贝塔阈值时的第二数位符号，以及当脉冲幅度既大于阿尔法阈值又大于贝塔阈值时的第三数位符号。

7. 根据权利要求 1 或 2 或 5 所述的方法，进一步包括：

当阈值错误被计数并且针对第 P 接收幅度的符号错误尚未被计数时对第 P 接收幅度的符号错误进行计数。

8. 根据权利要求 1 或 2 或 5 所述的方法，进一步包括：

计算如下中的一个：通过将比特错误的总数量除以数位测试序列的比特的总数量来计算比特误码率，以及通过将符号错误的总数量除以数位测试序列的符号的总数量来计算符

号误码率。

9. 根据权利要求 1 或 2 或 5 所述的方法，进一步包括：

基于如下中的至少一个来对由第 P 接收幅度生成的阈值错误进行分类：M 个二进制参考序列的第 P 个数位与 M 个二进制参考序列的第（P-1）个数位的比较，M 个二进制参考序列的第 P 个数位与 M 个二进制参考序列的第（P+1）个数位的比较，生成阈值错误的第 P 个符号的标识符，以及生成阈值错误的第 P 个采样时间。

10. 根据权利要求 1 或 2 或 5 所述的方法，进一步包括：

将第一二进制参考序列的第一对应数位逆映射到数位测试序列的原始符号。

11. 根据权利要求 10 所述的方法，其中映射和逆映射的步骤计及被测信号的前向纠错方案。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括：

基于前向纠错方案是否能够纠正阈值错误来将由第 P 接收幅度生成的阈值错误进行分类。

13. 一种错误检测器仪器，包括：

至少一个输入，用以接收被测信号的第一和第二接收幅度；

所述输入的阈值单元，用以存储定义至少三个电压范围的至少两个电压阈值；

符号单元，用以将唯一符号与每个电压范围相关联；

参考单元，用以存储包括符号序列的参考测试序列；

解析单元，用以在采样时间将第一接收幅度与电压阈值相比较以及将第一接收幅度解析为第一接收符号，其中第一接收符号是与第一接收幅度的电压范围相关联的唯一符号；

所述解析单元用以在采样时间将第二接收幅度与电压阈值相比较以及将第二接收幅度解析为第二接收符号，其中第二接收符号是与第二接收幅度的电压范围相关联的唯一符号；

比较单元，其配置成将第一接收符号与参考测试序列的对应符号相比较以及如果第一接收符号与对应符号不匹配则对符号错误进行计数，以及

所述比较单元进一步配置成将第二接收符号与参考测试序列的对应符号相比较以及如果第二接收符号与对应符号不匹配则对符号错误进行计数。

14. 一种错误检测器仪器，包括：

至少一个输入信道，用以采样被测信号的第一和第二接收幅度；

阈值单元，用以存储两个或更多电压阈值；

参考单元，用以将关联的二进制参考序列与每个电压阈值相关联；

解析单元，用以在采样时间将第一接收幅度与每个电压阈值进行比特比较以及将比特比较结果与每个电压阈值相关联；

所述解析单元用以在采样时间将第二接收幅度与每个电压阈值进行比特比较以及将比特比较结果与每个电压阈值相关联；以及

比较单元，用以将每个电压阈值的比特比较结果与相关联的二进制参考序列的对应比特相比较以及如果比特比较结果与相关联的二进制参考序列的对应比特不匹配则对阈值错误进行计数。

15. 根据权利要求 13 或 14 所述的仪器，进一步包括：

纠错单元，其配置成确定由第 P 接收幅度生成的阈值错误是否能够由被测信号的前向纠错方案所纠正。