



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 98106471. X

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 1178114C

[22] 申请日 1998.4.6 **[21]** 申请号 98106471.X

[30] 优先权

[32] 1997. 4. 4 [33] US [31] 833150

[71] 专利权人 特克特朗尼克公司

地址 美国俄勒冈州

[72] 发明人 J·J·皮克尔德

审查员 许凌云

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

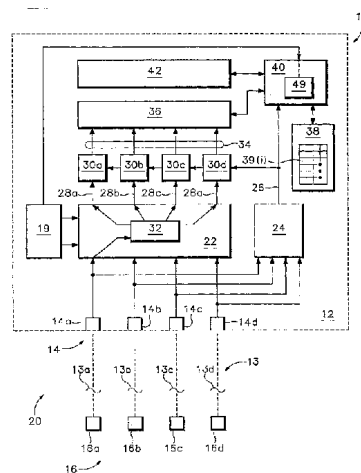
代理人 吴增勇 陈景峻

权利要求书 4 页 说明书 14 页 附图 5 页

[54] 发明名称 电波形数字取样方法和装置

[57] 摘要

用于对电波形进行数字取样的方法和装置，所述装置包括：对电信号进行取样的取样电路，使取样电路产生的样值数字化的数字化电路和存储样值的采集存储器，采集存储器被分隔为若干帧。每帧受触发而存储与各自触发事件相联系的样值，在几乎所有帧被触发后，在软件控制下从采集存储器取出其内容，经均衡滤波器滤波并且作为 ET 记录存储在波形存储器，供最终显示。与多通道数字取样示波器各输入端相联系的若干数字化电路是交错的，以提高取样速率。



1. 数字取样示波器中的一种取样方法, 其特征在于包括以下步骤:

- 5 a) 接收电信号;
- b) 在选择的时刻对所述电信号取样;
- c) 将所述样值数字化;
- d) 根据一个触发信号获取预定数量的所述经数字化的样值, 和构成所述数字化样值的相应的一次采集;
- 10 e) 将多个所述采集存储在采集存储器中, 而未对所述采集进行组合;
- f) 重复步骤 a) 到 e) 预定次数, 从而构成多个被存储的所述采集;
- g) 从所述采集存储器取出所述多个采集; 以及
- h) 将所述多个采集组合, 形成等分时间记录。

15 2. 根据权利要求 1 的方法, 其特征在于: 还包括在所述取出之后, 选择性地均衡所述数字化的样值, 以及为所述组合提供经均衡的、所述数字化样值。

20 3. 根据权利要求 2 的方法, 其特征在于: 还包括提供所述均衡操作的多种可选择的频率响应频谱特性, 以及选择所述多种特性中的一种或多种。

4. 根据权利要求 3 的方法, 其特征在于: 所述选择操作可选择地均衡所述数字化的样值, 以便补偿数字取样示波器的状态。

5. 根据权利要求 3 的方法, 其特征在于: 所述选择操作可选择地均衡所述数字化的样值, 以便补偿数字取样示波器的带宽。

25 6. 根据权利要求 3 的方法, 其特征在于: 探头与数字取样示波器耦合, 该探头有频带宽度, 所述选择操作可选择地均衡所述数字化的样值, 以便补偿探头的频带宽度。

7. 根据权利要求 1 的方法, 其特征在于: 所述电信号是光信号,

所述方法还包括在显示器上显示所述等分时间记录，并且确定所述等分时间记录是否在所述显示器上预定的遮掩区域边界之外。

8. 根据权利要求 7 的方法，其特征在于：还包括在从所述采集存储器取出所述采集之后、并且在组合所述采集之前均衡所述数字化的样值。

9. 在数字取样示波器的未补偿通道中用来补偿所述通道的方法，其中所述未补偿通道具有与补偿后的通道的所要求的频率响应频谱特性不同的未补偿频率响应频谱特性，所述方法包括以下步骤：

- a) 接收电信号；
- b) 在选择时刻对所述电信号取样；
- c) 将所述样值数字化；
- d) 根据一个触发信号获取预定数量的所述数字化的样值，和构成所述数字化的样值的相应的一次采集；
- e) 将多次所述采集的每一个存储在采集存储器中，而未对所述采集进行组合；
- f) 重复步骤 a) 到 e) 预定次数，从而构成多个被存储的所述采集；和
- g) 从所述采集存储器取出所述多个采集；
- h) 通过提供多种可选择频率响应滤波特性来可选择地均衡所述数字化的样值，选择所述多种滤波特性中的一种或多种，补偿所述通道频率响应频谱特性，以便使所述通道的频率响应频谱特性和所要求的补偿后的通道的频率响应频谱特性相对应，并且利用所述一种或多种滤波特性对所述通道进行滤波；
- i) 将所述多个采集组合，形成等分时间记录。

10. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述均衡操作补偿所述通道，使其大体上与 Bessel Thomson 频率响应频谱特性匹配。

11. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述通道包括示波器和检测电磁信号的探头，所述均衡操作补偿所述通道的所述探头的频率响

应频谱特性。

12. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述通道包括示波器，所述方法还包括提供示波器的衰减设置，所述均衡操作补偿所述通道的所述衰减器设置。

5 13. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述通道包括示波器，所述方法还包括提供示波器的步进增益设置，所述均衡操作补偿所述通道的所述步进增益设置的频率响应频谱特性。

14. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述通道包括示波器，所述方法还包括提供示波器的可变增益设置，所述均衡操作补偿所述
10 通道的所述可变增益设置的频率响应频谱特性。

15. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述通道包括示波器，所述方法还包括提供示波器的频带宽度，所述均衡操作补偿所述通道所述频带宽度的频率响应频谱特性。

16. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述通道包括示波器，所述方法还包括提供示波器的运行温度范围，所述均衡操作补偿所述
15 通道的所述运行温度范围的频率响应特性。

17. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述通道包括示波器，所述方法还包括提供示波器的一组额定参数，所述均衡操作补偿所述通道的所述各额定参数的频率响应频谱特性。

20 18. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述滤波操作使用 FIR 滤波器。

19. 根据权利要求 9 的方法，其特征在于：所述 FIR 滤波器是自适应滤波器。

20. 根据权利要求 18 的方法，其特征在于：还包括提供具有一个或多个 FIR 滤波系数的所述 FIR 滤波器；以及计算所述 FIR 滤波系数，
25 其方法是：对所述通道的脉冲响应进行取样而形成第一阵列，形成对应于所要求的脉冲响应的样值的第二阵列，从所述第一和第二阵列形成自相关矩阵，从所述第一和第二阵列形成互相关阵列，以及通过把

所述自相关矩阵的倒数乘以所述互相关阵列来计算滤波系数。

电波形数字取样方法和装置

5 本发明涉及电波形的数字取样。更具体地说，本发明涉及通过现有硬件的软件控制在数字取样示波器中提供有效地增加的和可控制成形的通频带。

 一般说在信号测量仪器中要求仪器有足够的带宽，以便能够在可接受的失真限度内响应待测信号的最高频率。众所周知，测量仪器在
10 足够高的频率往往失去这种能力，它们的响应明显地衰减(超过 3dB)并且相位移动、频率截止。

 增加信号测量仪器带宽的标准方案是使用速度更快的电路以便增加实际取样速率。然而，速度更快的电路成本很高，尤其在有多个通道、每个通道要求更高速度的情况。

15 另一个方案是现有技术中称之为等分时间取样(“ET”和“ET方式”)。在 ET 方式中优点在于利用待取样波形的周期特性，多次顺序地采集波形样值，并且利用这种采样过程逐渐建立波形周期的更高分辨记录。一次采集中的样值一般是与其他次采样中的样值不同步地采集的，因此它们不相互重叠。

20 在 ET 方式中使用的采集次数可以视为时间有效延长因子，或实际取样速率有效倍增因子。即，在采集波形样值期间提供更多的实用时间，使得在波形给定周期内采集更多的样值。然而，更多的实用时间是通过波形重复周期取样提供的。因此，可以理解 ET 取样一般不能使用于非周期波形取样。

25 数字取样示波器往往有 ET 方式。采集存储寄存器一般设置成圆形队列。数字化电路以基本上恒定的速率将波形的样值写入存储寄存器。当触发事件触发示波器时，预定数量的样值写入存储寄存器，此后取样停止。对应于该触发事件的预定数量样值构成一次“采集”。

用于确定触发位置、并且因此确定采集存储器中所要数据的起始位置的触发定位信息存储在单独的存储寄存器中。对应于特定的一次采集的采集存储寄存器的内容因而可以被定位和移入 ET 记录, 供最终向示波器用户显示。

5 一般说, 软件负责定位, 移动和用其他方法处理供显示的采集。一些软件指令 (“指令组”) 是和所采集的样值的数目成比例地执行的, 而一些软件指令是和采集次数成比例地执行的, 而与采集的样值数目无关。因此后面这组指令就所述样值而言是额外开销。一般说, 额外开销要占总指令组中很大百分比。

10 而且, 在示波器标准操作中对于一次采集要调用上述指令, 对于显示来说, 一次采集实质上是完整的结果。然而, 在需要多次采集才提供所要的结果显示的 ET 方式中, 指令必须被多次、即对每次采集调用。因此, 可以理解, ET 方式不仅使用较低的实际取样速率, 造成每次采集较少样值, 而且由于使用多次采集使额外开销成倍地增大而明显地牺牲速度。

15 数字取样示波器也可以有 “快帧” 模式。采集存储寄存器分隔为若干帧或段。一般说, 第一次采集的样值存储在其中一段上, 而在产生上述开销之前下一次采集的样值存储在随后各段上。因为现在开销分摊在若干次采集上, 所以, 可以大大地提高示波器有效取样速率。各次采集衔接起来, 最终在显示屏上提供给用户。虽然这方法通过减少给定采集的有效开销来提高取样速率, 但是, 有效取样速率仍然受到取样速度和数字化硬件的限制。

20 有时数字取样示波器用于提供所谓的 “眼图”, 后者用于数字位流的遮掩测试(mask testing)。此处, 被测信号一般为非周期的。 “眼图” 尤其显示表示数据位的数字脉冲边沿的形状。因此, 眼图的可接受的分辨率要求取样速率至少为构成数字脉冲边沿的福里哀分量的频率的二倍。因此, 使用具有与位速率相比较宽的带宽的数字取样示波器在眼图测试中更为有用。

这种眼图可以用于分析光波形，例如同步光纤网络（SONET）和光纤通道光波形，尤其是用于遮掩测试。在这种遮掩测试中一般使用规定基准接收器（下文称为“基准通道”）、例如用于构成眼图的数字取样示波器频率响应的标准。例如 ITU - TS G.957 标准规定基准接收器有 4 阶 Bessel-Thompson（“BT”）频率响应，其 3db 带宽被选择为位速率的 0.75 倍。

基准通道一般包括：数字取样示波器；与数字取样示波器电输入端连接的探头；和用来均衡基准通道使其基本上与所要求的 BT 频率响应匹配的滤波器。一般说，数字取样示波器使用足以超过所要求频率响应的带宽。为光遮掩测试所使用的这种数字取样示波器的例子是 HP 公司生产的 HP 71501。同样，一般说探头具有超过所要求 BT 响应带宽的带宽。那么，一般使用较贵的但标准的外装硬件滤波器，对基准通道的通频带整形，使其落在 BT 响应内。换言之，假如或是探头或是示波器，或两者的截止频率在所要求的 BT 响应范围内，则必须另外使硬件滤波器满足基准通道特定频率响应特性的要求。

通常不希望为了能使用标准滤波器而承担使用有足够高频率响应基准通道的费用。在例如一些 SONET/光纤通道信号的高至 622Mb/S 位速率情况下更是如此。尽管一般可以使用定做的滤波器以获得基准通道所要求频率响应，但是，每个探头和示波器组合需要较贵的定做滤波器的缺点是显而易见的。

因此，需要这样一种电波形数字取样方法和装置，它能以较低费用在数字取样示波器中增加有效带宽，并且在某些应用中能将增加的有效带宽和对数字取样示波器通频带形状的改进的控制相结合。

本发明电波形数字取样方法和装置解决了上述问题并且满足了上述需要，其办法是使用以下电路：对电信号进行取样的取样电路；将取样电路产生的样值数字化的数字化电路；以及存储样值的采集存储器，采集存储器被分隔为若干段。采集存储器的每段受触发而存储与特定触发事件相联系的样值。在所有段受触发后，采集存储器内容

在软件控制下从采集存储器取出，经处理，并且存入波形存储器，作为 ET 记录供最终显示。这有效地将软件有关的开销分摊在若干触发事件上，造成明显要比标准 ET 方式更高的速度，因为标准 ET 方式对每一触发事件调用上述软件开销。

5 采集存储器每段内容在从采集存储器取出后和在存入波形存储器供显示之前要经均衡滤波器、最好为自适应有限冲击响应（FIR）滤波器滤波。设置均衡滤波器用于控制基准通道通频带形状。更详细地说，使用均衡滤波器对于使基准通道频率响应与现有技术中已知的 SONET/光纤通道光信号遮掩测试的四阶 BT 响应相匹配是有益的。

10 在多通道数字取样示波器中本方法和装置最好还使用与通道相联系的若干数字化电路，其中可以选择性地将几个数字化电路加到所述通道中所选择的一个并且所述数字化电路可以是交错(interleave)的，以便基本上与所加数字化电路数目成比例地提高通道取样速率。

15 因此，本发明的主要目的是提供新颖和经改进的电波形数字取样方法和装置。

 本发明的另一目的是提供能增加现有数字取样示波器有效频带宽度的这种方法和装置。

 本发明还有另一目的是提供在数字取样示波器中具有高速等分时间方式的这种方法和装置。

20 本发明还有另一目的是提供能控制数字取样示波器通频带形状并且费用较少的这种方法和装置。

 本发明的另一目的是提供通过现有硬件的软件控制而有效地加宽数字取样示波器通频带并对其进行可控整形的这种方法和装置。

25 本发明还有另一目的是提供在数字滤波器中改善光信号遮掩测试能力的这种方法和装置。

 本发明还有另一目的是提供具有与每通道相联系的数字化电路的多通道数字取样示波器的这种方法和装置，该方法和装置用来选择性地将几个数字化电路加到所述通道中选择的一个上、以及用来与所

加数字化电路的数目成正例地提高取样速率。

当考虑以下结合附图对本发明进行的详细描述，将能更清楚地理解本发明的上述和其他目的，特征和优点。

附图如下：

5 图 1A 是本发明电波形数字取样装置的方块图。

图 1B 是用于光信号遮掩测试的数字取样示波器的显示图形。

图 2 是现有技术采集存储寄存器。

图 3A 是定义本文所用的时段和时隙的时间轴图。

图 3B 是图 1 装置第一次采集电信号的幅度与时间关系图。

10 图 3C 是图 1 装置第二次采集图 3B 电信号的幅度与时间关系图，根据本发明，图 3B 所示第一次采集与所述第二次采集是一致的。

图 4 是本发明采集存储寄存器的方块图。

图 5 是本发明使用的典型基准通道的电压与 Bessel Thompson 滤波器频率响应的关系对数图。

15 参阅图 1A，最好在现有的数字取样示波器 12 中使用本发明的电波形数字取样装置 10 最佳实施例，从而以较低成本改善示波器 12 的性能。电波形可以是任何模拟或数字信号 13。然而，本发明对于 SONET/光纤通道光信号的遮掩测试尤为有利。见图 1B 示波器 12 的典型显示图形，表示用掩模 11 对光信号进行遮掩测试中所使用的眼图
20 9。

示波器 12 最好有多个电输入端 14a, 14b, 14c 和 14d，用以接收若干要由示波器 12 取样和显示的电信号，可以使用任何数量的电输入端，然而，包括一个电输入端并不偏离本发明原理。

25 一般说电输入端分别与可拆装的示波器探头 16a, 16b, 16c 和 d 电连接，探头能与待测的电磁能源电磁耦合。探头可以电磁耦合的电磁能可以是例如光信号形式的光电磁能。当用作例如传输 SONET/光纤通道光信号的光通道基准接收器时，探头 16a-16d 与被选择的光信号耦合，在其输出端、在探头通频带内提供与光信号幅度和相位成

比例的有关电信号 13。

然而，探头 16a-16d 往往具有在信号位速率附近截止的频率响应，对于 SONET/光纤通道信号位速率可能约 622Mb/S。而且，示波器 12 也可能具有在信号位速率基频附近截止的频率通频带。装置 10 特别适合用于一起构成基准通道 20 的这种示波器 12 和探头 16，其频率响应在例如位速率为 622Mb/S 的 SONET/光纤通道信号的高数字位速率信号的位速率处截止。

电输入端 14a-14d 连接取样电路 22 和触发电路 24。取样电路 22 在各输入端 14a, 14b, 14c 和 14d 以由取样速率最好至少为 4GS/S 的取样时钟 19 决定的规则的、离散的次数对电信号 13a, 13b, 13c 和 13d 取样。虽然 4GS/S 取样速率仅为说明而假设，可以理解取样速率可以大于或小于 4GS/S，而不偏离本发明原理。取样电路产生各取样输出信号 28a, 28b, 28c 和 28d。

设置触发电路 24，当一个或一个以上的电信号 13 出现在输入端 14a-14d（触发事件）时，在遇到一个或一个以上的电信号 13 预定触发条件下，在其输出端产生触发信号 26。响应触发事件采集的相关数量的电信号样值下文称为电信号 13 的一次采集。

装置 10 包括接收取样输出信号 28a-28d 的数字化电路 30a, 30b, 30c 和 30d，它们分别与电输入端 14a, 14b, 14c 和 14d 相联系。一般说来，所述数字化电路能以仅为 1 GS/S 速率数字化，这一般小于取样电路 22 的能力。因此，同电输入端一样可以有任何数量的数字化电路 30；然而，装置 10 对每个电输入端 14 使用一个数字化电路较好。

取样电路 22 包括通道连接器 32，用于将选择的一个电信号与选择的一个或多个数字化电路 30 连接。正如现有技术中所知，数字化电路是交错(interleave)的。以便提高所选择的输入端上数字化速度，所述数字化速度基本上正比于所使用的数字化电路 30 的数量（“交错因子”）。因此，例如图 1A 所示四个排成一行和交错的数字化器提供交错因子 4，具有约 4 GS/S 数字化速率，正好与取样电路 22 取样速

率匹配，因而相对于所选择的电输入端提供最大取样能力。在图 1A 中表示通道连接器 32 将输入端 14a 与所有四个数字化器 30 连接，以提供这最大取样能力。

5 交错的数字化电路 30 提供加在采集存储寄存器 36 的输出信号 34。见图 2，在示波器 12 中一般设置采集存储寄存器 36，采集存储寄存器排列成一般有约 130K 字或样值的园形队列“Q”。

在示波器 12 的现有的和正常的操作中，不论是正常方式还是 ET 方式，在触发信号 26 报告触发事件之前数字化电路 30 以几乎恒定速率将数据写入采集存储器。在接收到触发脉冲后，数字化电路继续
10 将预定数量的样值写入采集存储器。可以决定该触发采集在采集存储器中位置的有关触发信息存储在触发存储器 38 中。在已采集样值以后，在处理该采集之前数字化电路 30 被禁止将数据写入采集存储器。

在示波器 12 的标准操作中，以足够地高于电信号 13 频率的速率采集样值，使得在信号一个周期内可以采集到表示信号的所有样植。
15 然而，在 ET 方式下，对于要在一个周期内采集到要求的样值来说取样速率还不够高。因此必须在信号的若干周期内采集样值和逐次采集地组合、以构成信号记录。为说明起见，假定在 ET 方式下响应一个触发事件要采集 500 个样值。然而，采集的样值数量主要取决于采集速率和电信号 13 的频率。

20 在一次采集中样值最好被顺序地采集在采集存储寄存器 36 中，尽管可以把各次采集按任何次序存储在存储寄存器中。然而，在存储寄存器中不保持时间信息。相反，可以推测样值之间时间间隔。例如，对于顺序存储可认为相邻样值时间上是由实际取样周期分隔的。

在采集 500 个样值后开始处理过程的循环。这种处理过程的循环
25 一般用软件实现。处理器 40 读出存储在触发存储器 38 中触发信息，决定从何处开始读采集存储寄存器 36 中的样值。然后处理器读出样值，以便写入波形存储寄存器 42，构成电信号 13 的该周期的 ET 记录。

各样值在从采集存储寄存器 36 中取出后被组合、以便放入波形存储寄存器 42。参阅图 3A，以取样频率采集样值，因此在连续的采集样值之间的每个取样周期“P”界定时段“TS”。因此时段有长度“P”。因为每次采集的样值以取样频率采集，一次采集的每个样值对应于一个单独的时段。

对于 ET 方式，每个时段“TS”分隔为若干分立的时隙“S”，以接收其他采集的样值。即，对于 N 次采集每时段最好有 N 个时隙。因此时隙宽度基本上等于时段长度“P”除以 N。因此上述时间扩展因子等于时隙数量以及采集次数，要求将时段分隔的时隙数对应于所要求的有效取样速率的提高。

每个时段按相同方式分隔，一个时段的时隙“S”通过构成所述各次采集的一次采集而与其他时段中对应的时隙相联系。例如，第一次集的第一样值“A1”位于第一时段“TS1”的第一时隙“S11”，而第一采集的第二样值“A2”位于第二时段“TS2”对应的第一时隙“S21”。同样，第二采集的第一样值“B1”位于第一时段“TS1”的第二时隙“S12”，而第二次采集的第二样值“B2”位于第二时段“TS2”对应的第二时隙“S22”。在各次采集中只有二个样值的情况下，只有二个时段，并且在只有二次采集的情况，每个时段只有二个时隙。可以看出，对应于第一次采集的样值与第二次采集的样值相互交错方式是与数字化电路 30 的上述交错方式相同的。

对应于若干次采集的时隙下文称为“采集组合”。最好组合时每次采集的样值与其他次采集的样值时间上是分隔的。最好，以与取样时钟频率同步的规则间隔采集样值时，触发事件是与取样时钟不同步的。因此，对应于一个触发事件的样值一般与对应于其他触发事件的样值是分隔的。

参考图 3B 和 3C，考虑到各次采集的不同步，组合所述各次采集的过程包括按照时间“t”调整或对准各样值。即，每次采集要与相对应的各时隙对准。在处理器 40 中有时间插值器 49，测量每次触发

事件和采集对应于该触发事件的样值的下一分立时间之间的时间。这些时间是按照取样时钟频率“TC”到达的。此后时间插值器计算与沿取样时间轴相关的位置对应的取样间隔的分数值。那么，与给定采集联系的沿取样时间轴偏移量等于相应的分数值乘以取样间隔宽度。

5 如图 3B 所示,在与信号 13 超过触发电平“V”的第一时刻“t1”对应的触发以后,在时间 $t=TD15$ 采集这采集 15 的第一样值 15a。假如时间 TD15 规定图 3A 中时隙“S11”,因此采集 15 对准图 3A 中对应的时隙,即时隙“S11”,“S21”,……“Sn1”。在图 3C 中在与信号 13 超过触发电平的第二时刻“t2”对应的第二触发以,
10 以在时间 $t=TD17$ 采集这次采集 17 的第二样值 17a。假定与采集 17 对应的时隙就是图 3A 中时隙“S12”,“S22”,……“Sn2”。时刻“t2”一般说是(但不总是)时刻 t1 以后信号周期的整数倍。因为“t1”和“t2”表示 ET 记录中相同时间,所以,采集 17 的样值必须相对于采集 15 的样值在时间轴上偏移距离($TD17 - TD15$),
15 以便使采集 17 与采集 15 对准,并且因此与上述对应的时隙对准。这些对准的采集作为 ET 记录送往波形存储寄存器 42。

 处理器 40 必须执行若干指令,将采集定位和组合。如上所述,指令总数的子集是开销,即相对于取样数目是固定的。在示波器 12 的 ET 方式现有和正常的操作中,采集存储寄存器 36 在标准 ET 方式中
20 在样值被处理以便输入 ET 记录前只保持单独一次采集的样值,不论样值数目是 500 还是 130000。

 对于由交错的四个数字化电路 30 获得的 4 GS/S 取样和数字化速率而言,可以看到在对应该位速率的周期内可以采集到 622 Mb/s SONET/光纤通道信号的仅仅 5 个样值。因此,在示波器 12 的标准 ET
25 方式的现有和正常操作中对每 5 个样值将调用开销,即对 500 个样值 ET 记录 100 次调用开销。

 然而,本发明提供高速 ET 方式(“HSET”)。参考图 4,采集存储寄存器 36 被划分为类似于快帧方式的若干存储器段或帧

44(i)。每帧排列成圆形队列“Q(i)”。仅为说明起见，对于容量为 500 个样值的采集存储寄存器 36，假设帧数为 100，其中 5 个样值构成 SONET/光纤通道信号的采集。这提供 100 的时间扩展因子。

5 数字化电路 30 向第一帧 44(1)写入，直至第一触发事件以上述相同方式产生 5 个样值的采集为止。在把这些样值存入第一帧之后，数字化电路 30 向第二帧 44(2)写入，直至第二触发事件产生另外 5 个样值采集为止。只有在 100 帧 44(i)中所有或若干帧存入对应的采集的样值之后，调用处理循环，发生开销。因此，可以看到现在开销分摊在 100 个触发事件的所有或若干事件上，而不是仅仅一个事件上。

10 尽管采集存储寄存器 36 分隔的帧数大体等于上述的时间扩展因子为最好，但是，帧数可以大于或小于时间扩展因子，而不偏离本发明原理。

15 每帧 44(i)有与之联系的触发信息存储在现已排列为一阵列的触发存储器 38 单元 39(i)中。对于第一帧 44(1)，处理器 40 从触发存储器 38 单元 39(1)读触发信息，并且决定在何处开始读帧 44(1)中的样值。处理器读出样值，并且若要求的话将样值如下所述地送往均衡滤波器 46。在处理器读出第一帧样值后，处理器从触发存储器 38 单元 39(2)读触发信息，并且决定在何处开始读帧 44(2)的样值。处理器读对应于第二帧的样值，并且若要求的话在第一帧样值经均衡后将对应于第二帧的样值送往均衡滤波器 46。这个程序继续进行，直至所有帧已被读出，并且若需要的话送往均衡滤波器。在已从各帧读出后，将各采集如上所述地组合，以便提供给波形存储寄存器 42，和作为 ET 记录最终显示。

25 本发明一个目的是将基准通道 20 均衡至所要求的频率响应频谱特性。对于 SONET/光纤通道遮掩测试尤其需要如此，因为它必须将高频响应整形成为四阶 Bessel Thomsor(BT)滤波器，以便与 SONET/光纤通道信号系统各标准一致。参考图 5，图中画有所要求 BT 响应以及未经均衡基准通道 20 的典型响应“R”的频率响应曲线，其中

画出电压的对数与频率的函数关系的曲线。

5 先前，通过在探头 16 和示波器 12 电输入端 14 之间连接专用外装硬件滤波器来达到均衡。然而，本发明中对应帧 44(i) 的样值在从采集存储寄存器 36 取出后在机内的均衡滤波器 46 中均衡，以达到相同或更佳的结果。

10 在 ET 方式中、尤其对于 HSET 方式眼图、象在其中多个触发事件与电信号 13 不同步的 SONET/光纤通道遮掩测试中的情况一样，每个样值一般在放入波形存储寄存器 42 供显示之前应该经均衡。这是因为处理器为波形存储寄存器 36 从各个独立采集的样值组汇集 ET 记录，使得样值之间的时间关系一般不能精确保持。因此各样值最好或必须分别受均衡。虽然，样值可以顺序地或按任何要求的次序被取出以便均衡。

15 再参考图 4，最好有与采集存储寄存器 36 的每个帧 44(i) 相联系的滤波器 46(i)，以便对各次采集的样值分别进行均衡。然而，滤波器 46 最好用软件实现。以便以重复运行子程序的形式来实现各独立的滤波器。

均衡滤波器 46 最好是具有相应的 FIR 滤波系数的通用 FIR 滤波器 48。FIR 滤波器系数由下面的校准方法确定。

利用转移函数来定义所需要的 BT 响应：

20

$$G(s) = \frac{105}{s^4 + 10s^3 + 45s^2 + 105s + 105}$$

BT 滤波器的脉冲响应的样值 D_n 由以下产生：

25 $D_n = G(S)$ ，式中 $S = (n \cdot \Omega_{\text{cutoff}})$ ，

n 是从 0 至 $N - 1$ 的整数；

N 是要产生的样值数目；

$$\Omega = \frac{2\pi j}{N}$$

cutoff=所要求的截止频率。

对基准通道 20 的实际脉冲响应进行取样，以便构成第二线性阵列 X。

5 光脉冲发生器用于产生输入列基准通道 20 的脉冲。比如说，在 HSET 中利用数字化电路 30 以 ET 取样速率 100 GS/S 并取其十分之一为实际取样速率来采集脉冲响应 X，以便建立最大 15K 样值记录长度。在使用数字化电路 30 的交错的情况下，ET 取样速率必须是交错因子的倍数。

10 其次可以如下构成自相关矩阵 R：

$$R_{m,n} = 1/N \sum_{k=L}^{N+L-1} (X_{k-m} \cdot X_{k-n})$$

15

式中：m=从 0 至 N - 1 的整数

L = FIR 滤波器长度

而交叉相关阵列 P 如下构成：

20

$$P_n = 1/N \sum_{k=L}^{N+L-1} (D_k \cdot X_{k-n})$$

25

然后，根据 $R^{-1} \cdot P$ 或通式 Gauss-Jordan 变换求得滤波器系数 W。
已发现一般说滤波器 48 中 19 个点或抽头的长度对于以下用途已经足够：用来均衡数字示波器，例如 Bbaverton, Oregon 的 Tektronix 公司 (“Tektronix”) 中任何型号；以及利用也是 Tektronix 公司生产和销售的、型号为 P6703B 的光接收器来测量光信号。对于 19 点 FIR 滤波器，

R 具有维数 19×19 。

滤波器系数 W 可以预先决定和存放在存储器 62 中。存储器 62 对每个滤波器最好有作为 16 位字存储的最大 79 个系数。存储器 62 可以是受保护的、非易失性存储器。或者，FIR 滤波器 48 存储器 62 可以是不受保护的或易失性的。然后，所述滤波器系数可以在现场或甚至在示波器 12 运行时以编程的方式或其他方式更新。尽管使用自适应滤波器作为滤波器 46 是有好处的，但是，滤波器的滤波器系数不必是实时自适应的或以重复次数选择的。宁可说，从本发明实践来说系数可以一次选择，最好在制造时一次选择。滤波器系数一般说来对于每个光探头 16、每种衰减器设置、每个示波器 12 和所支持的每种光学标准来说是特定的。而且，已发现通道频率响应频谱特性是随示波器增益设置，即步进增益设置和可变增益设置，通道带宽以及运行温度而变化的。滤波器系数可以是对这种特定的状态或条件标准的，或可以是针对选择的电压或状态额定值而确定的。当如上所述以软件实施的方式时，大数量的滤波器 46 可以经济地实现，以提供对大数量或所有状态的标准。

比如说，对于 Tektronix TDS 系列数字取样示波器的光遮掩测试，有七个支持的遮掩标准，每个都要求通道有 BT 响应和相联系的截止频率。对于每个标准，提供十四个上述均衡滤波器为标称或缺省滤波器，对于每个衰减器设置 1X 和 10X 提供一个滤波器。标称滤波器系数是对于示波器频率响应频谱特性额定值计算的，因此，对每一台示波器是相同的。

对于包含具有预定频率响应频谱特性的探头的 Tektronix TDS 接收器，提供另外十四个经过校准的滤波器，这些滤波器的滤波系数是特地针对每个专用的探头以及例如光遮掩标准和衰减的选择的状态校准的。更具体地说，在 TDS 示波器中，对于七种遮掩标准和两种衰减器设置提供至多二个 P6701B 和 P6703B 型专用光探头的经校准的系数。

5

虽然已经以最佳实施例的形式说明了用于对电波形进行数字取样的方法和装置，但是，在经均衡滤波器 46 均衡以后，在进入波形存储寄存器 42 供最后显示之前可以按照任何要求的方式对所述样值进行处理，并且，除了上述已提及的配置外可以在不偏离本发明原理的情况下使用其他配置。

10

在上述说明书中所使用的术语和表达仅为描述之用而不具有限制性，这些术语和表达的使用并不意味排除所表示和描述的特征或其各部分的等同物，显然，本发明的范围仅受以下所附权利要求书的规定和限制。

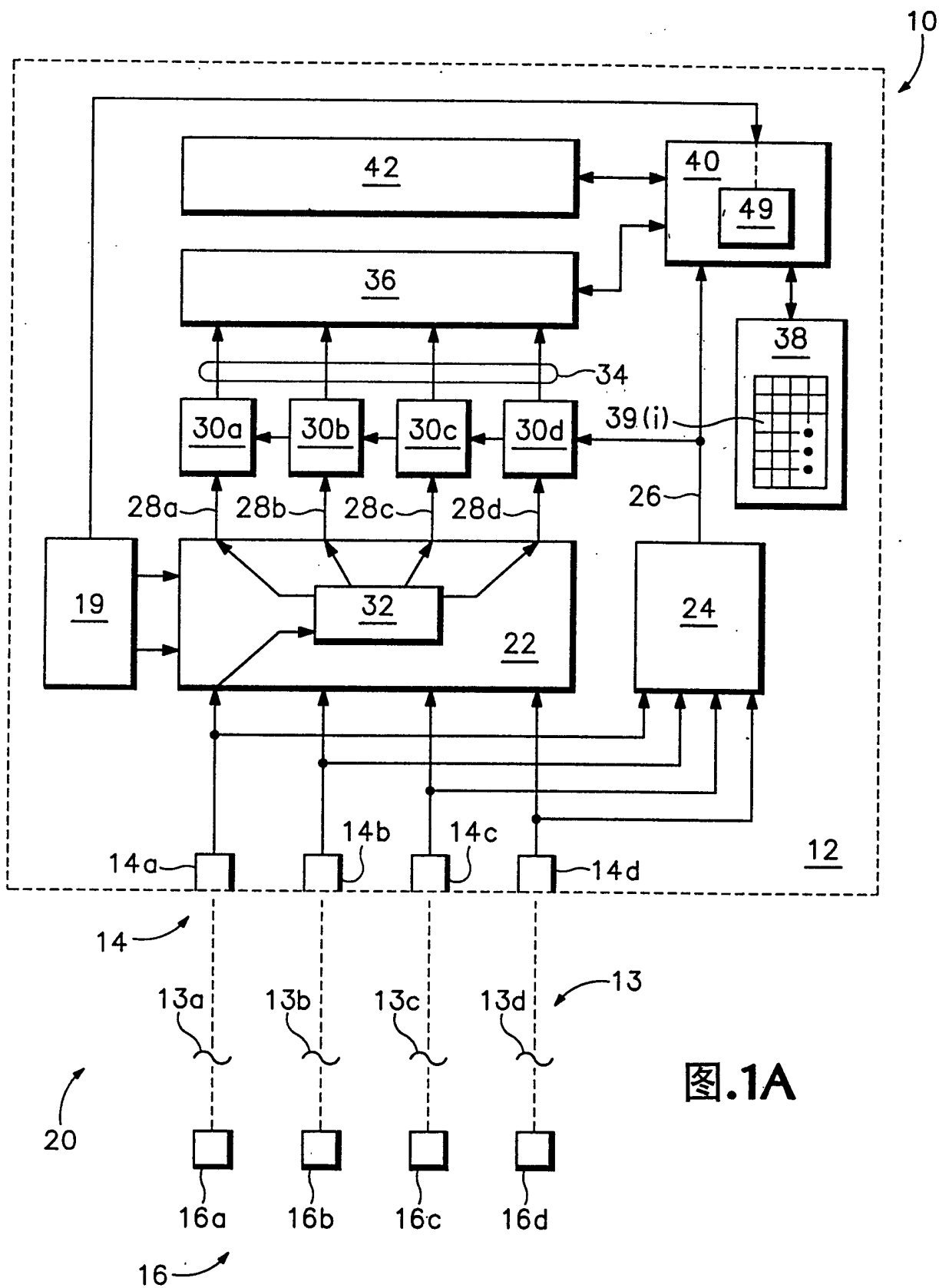


图.1A

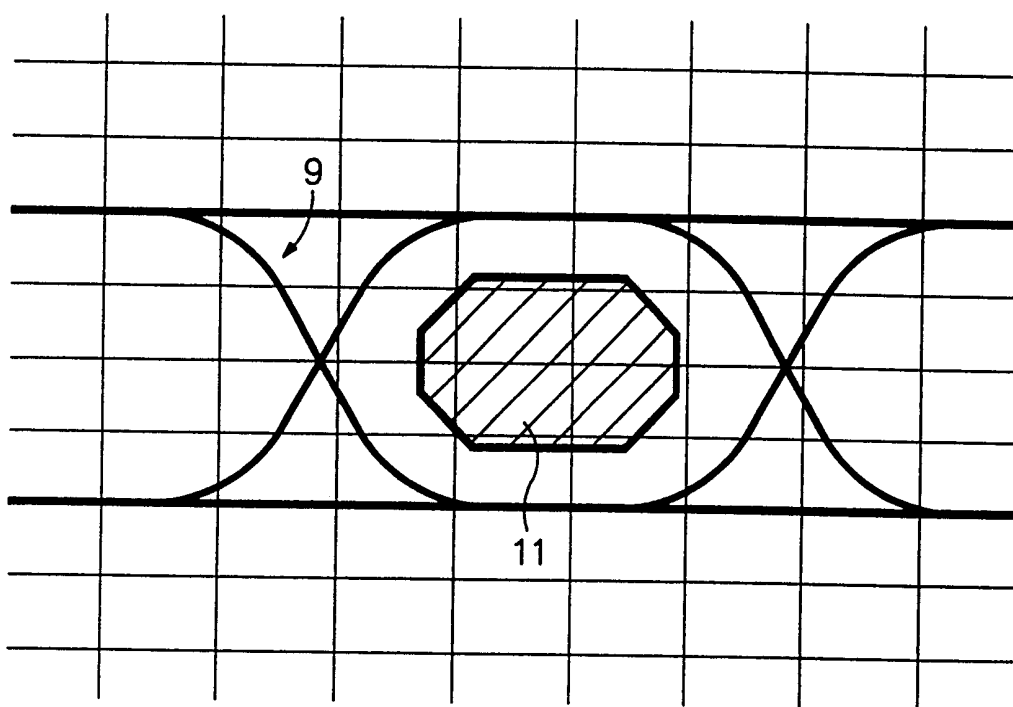


图.1B

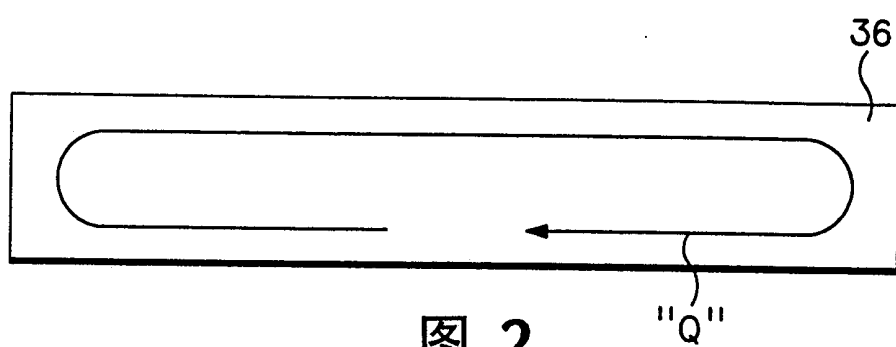


图.2

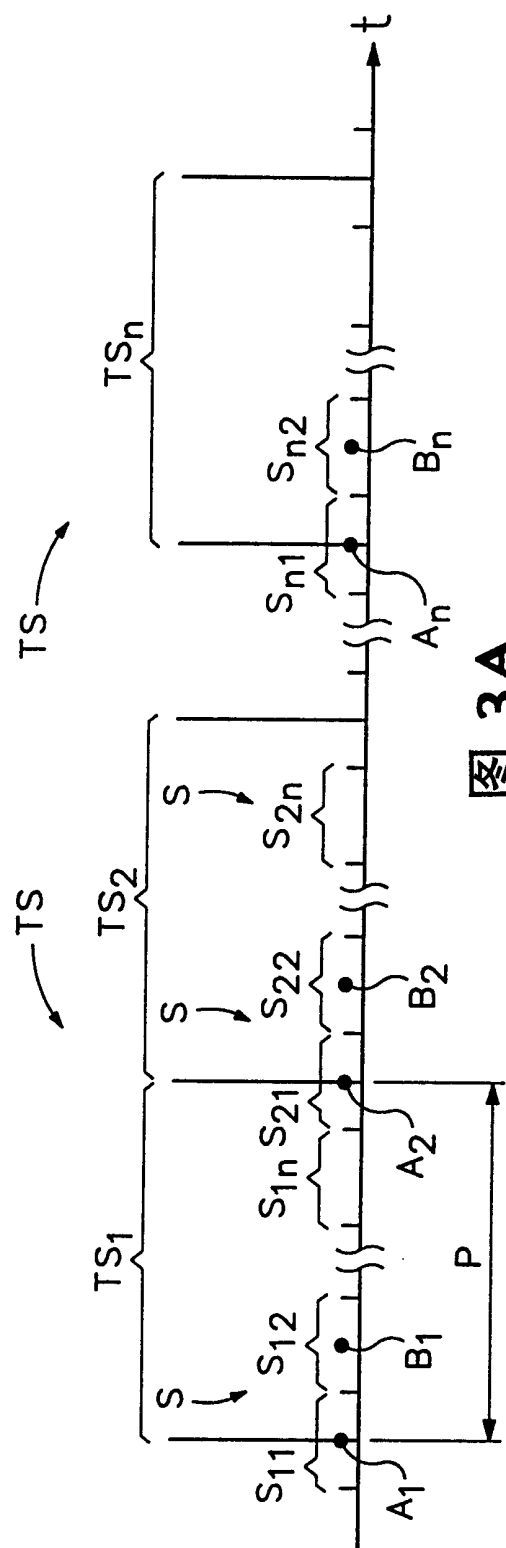


图.3A

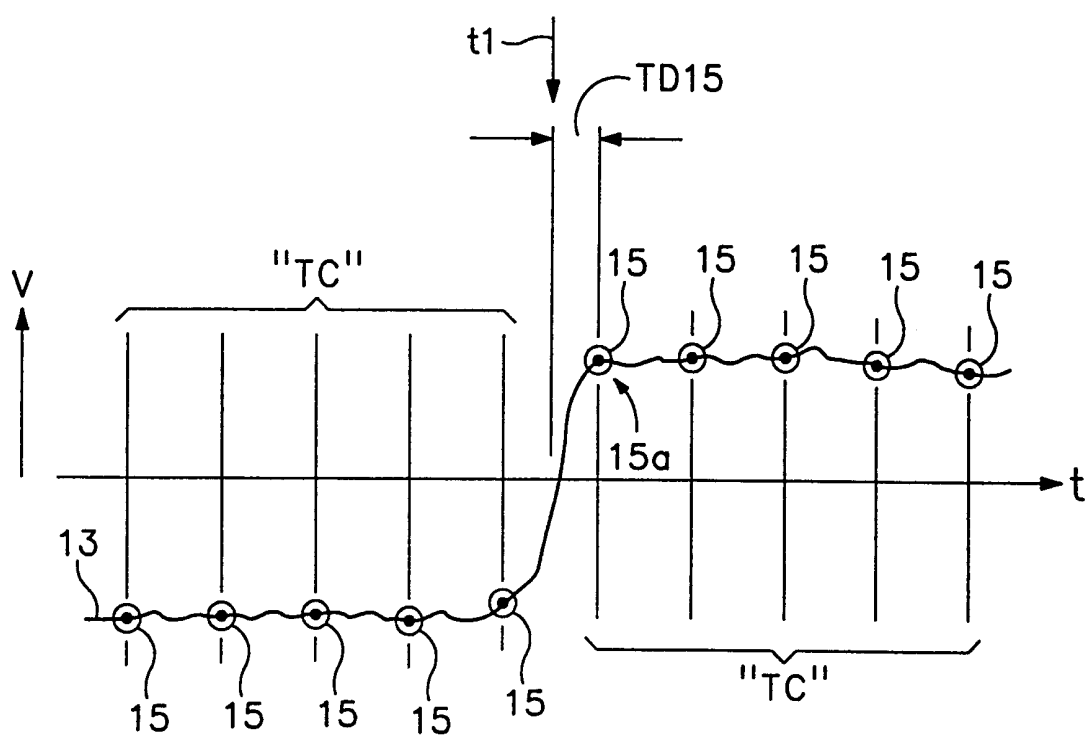


图.3B

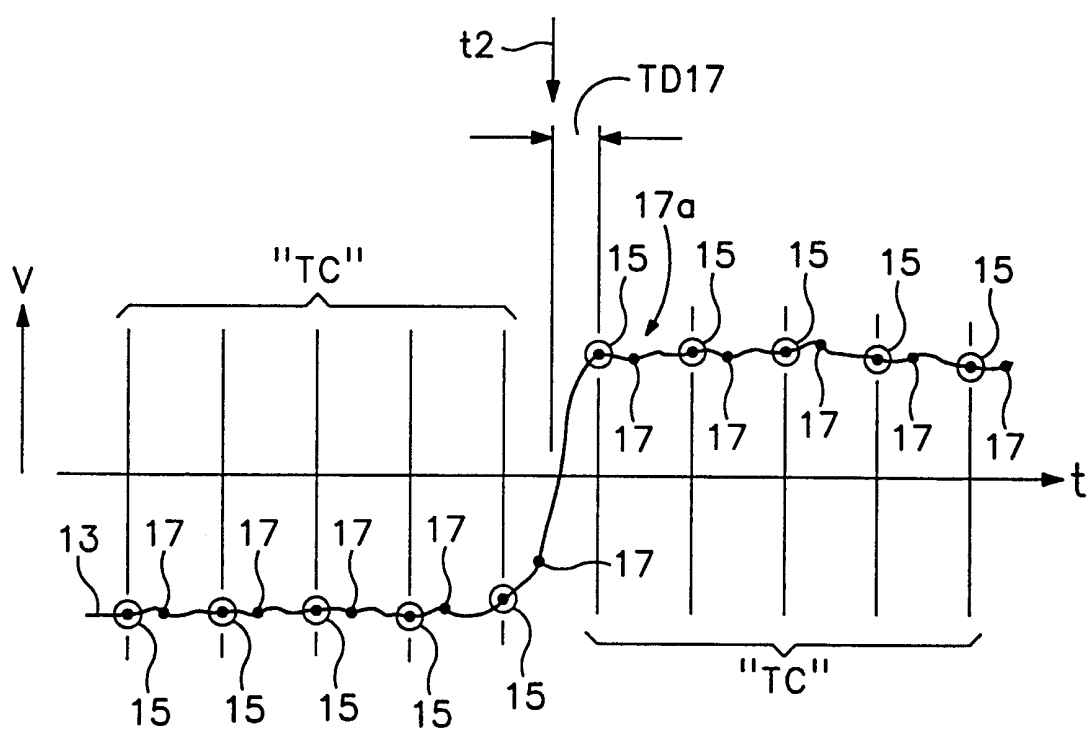


图.3C

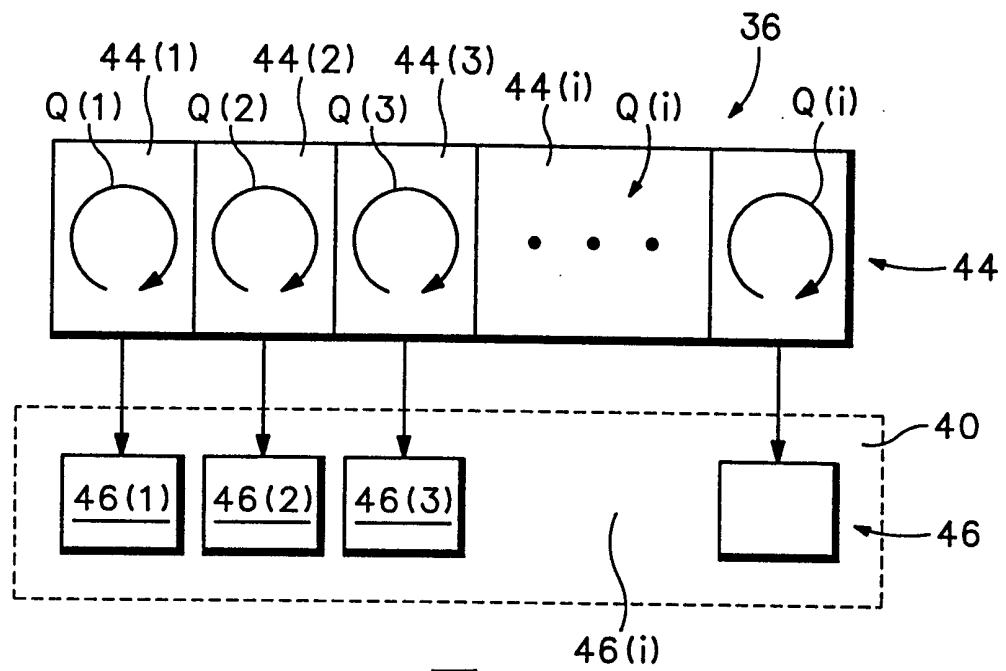


图.4

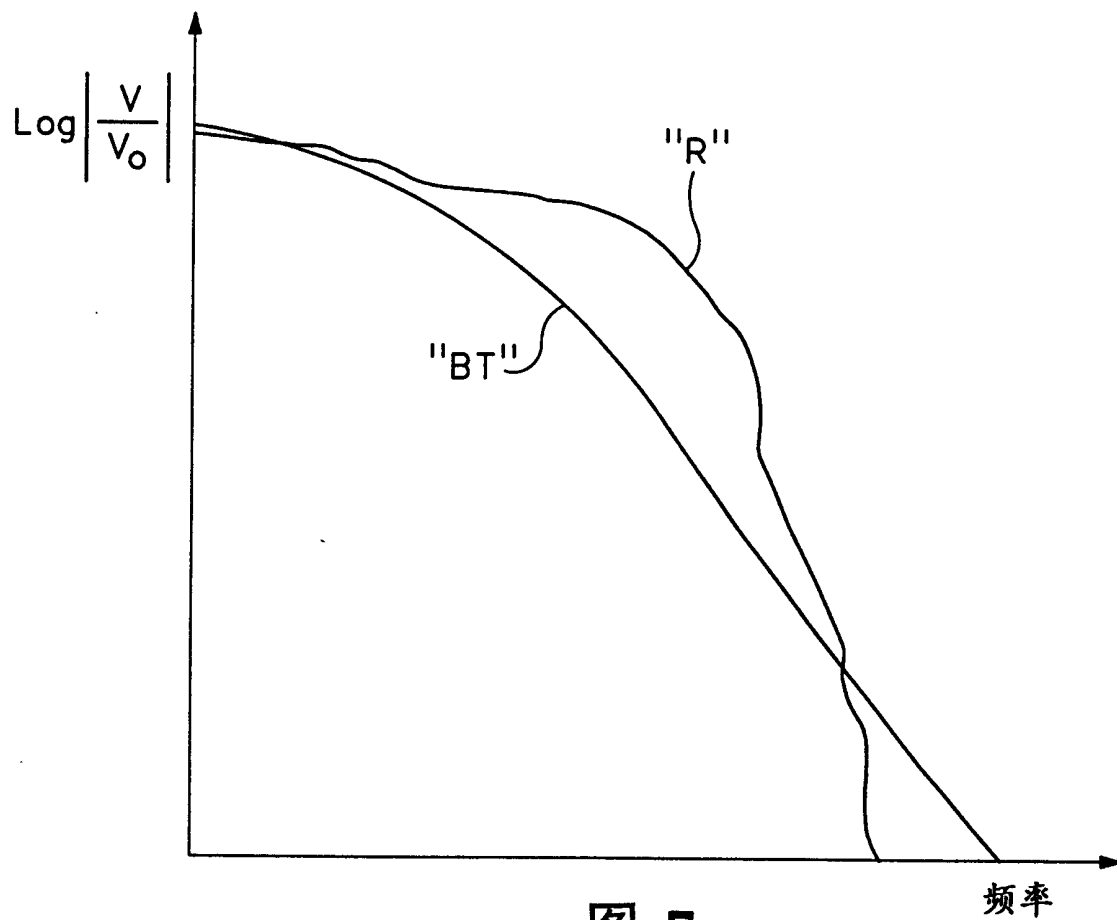


图.5