



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112204646 A

(43) 申请公布日 2021.01.08

(21) 申请号 201980035575.8

(22) 申请日 2019.03.29

(30) 优先权数据

18165277.7 2018.03.29 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.11.26

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/058114 2019.03.29

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2019/185935 EN 2019.10.03

(71) 申请人 巴科股份有限公司

地址 比利时科特赖克

(72) 发明人 W·范艾森 J·I·兰伯特

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 陈斌 蔡悦

(51) Int.Cl.

G09G 3/3275 (2006.01)

G09G 3/20 (2006.01)

G09G 3/00 (2006.01)

G06F 3/14 (2006.01)

G09G 3/3225 (2006.01)

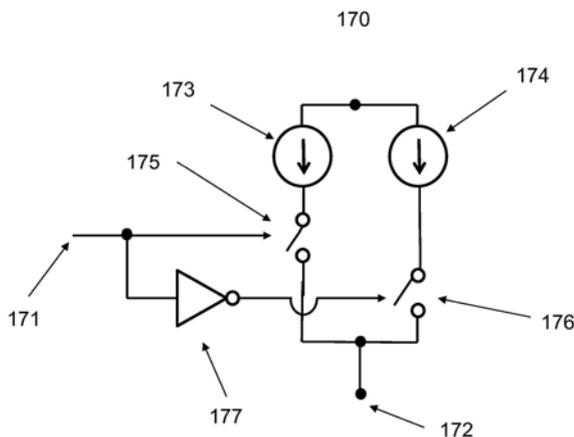
权利要求书2页 说明书20页 附图31页

(54) 发明名称

用于LED显示器的驱动器

(57) 摘要

本发明提供了一种方法、一种数字驱动电路和一种LED显示器,其中通过针对每一像素截去n比特数字图像的(n-m)个最低有效位或最高有效位,来将要在连贯诸帧中显示的图像从n比特数字图像转换成(m+1)比特数字图像,其中m<n,并将指示编码在(m+1)个比特中,并且如果截去(n-m)个最低有效位,则向(m+1)比特数字图像的每一像素提供第一驱动电流,且如果截去(n-m)个最高有效位,则向(m+1)比特数字图像的每一像素提供第二驱动电流,其中第一驱动电流与第二驱动电流的比率使得它造成2^(n-m)的明度比率,并且其中该指示提供与要使用的驱动电流有关的信息。



1. 一种使用图像数据来驱动具有包括驱动晶体管和发光器件的像素的有源矩阵显示器的方法,所述图像数据表示要在连贯诸帧中显示的图像,所述方法包括:

-通过针对每一像素将n比特数字图像截短(n-m)个最低有效位或最高有效位来将由n比特数字图像表示的每一帧转换成(m+1)比特数字图像,其中 $m < n$,并将指示编码在(m+1)个比特中,

-如果截去(n-m)个最低有效位,则向所述(m+1)比特数字图像的每一像素提供第一驱动电流,且如果截去(n-m)个最高有效位,则向所述(m+1)比特数字图像的每一像素提供第二驱动电流,其中所述第一驱动电流与所述第二驱动电流的比率使得它造成 $2^{(n-m)}$ 的明度比率,并且其中所述指示提供与要使用的驱动电流有关的信息。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,产生 $2^{(n-m)}$ 的明度比率的所述第一和第二驱动电流是通过对所述有源矩阵显示器的输出的光学测量来确定的。

3. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,光学测量是被用来显示测试图的像素集的光学测量。

4. 如任一前述权利要求所述的方法,其特征在于,明度与驱动电流之间的关系至少部分地是非线性的。

5. 如权利要求3或4所述的方法,其特征在于,所述光学测量是根据Barten使用所述有源矩阵显示器的像素集显示测试图案来作出的。

6. 如任一前述权利要求所述的方法,其特征在于,所述转换是使用诸如gamma曲线或PQ曲线等电光传递函数或从电光传递函数导出的查找表来执行的。

7. 如任一前述权利要求所述的方法,其特征在于,执行从所述第一电流到所述第二电流的转变,使得它造成低于根据人类视觉系统的模型评估的最小可检测对比的亮度增加。

8. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,所述人类视觉系统的模型基于以下中的至少一者:最小可觉差、Barten模型、韦伯定律、De Vries-Rose平方根律、PQ曲线。

9. 如任一前述权利要求所述的方法,其特征在于,所述有源矩阵显示器的像素是LED或OLED像素。

10. 如任一前述权利要求所述的方法,其特征在于,每一帧能被分成诸子帧。

11. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,帧的一子帧是用第一驱动电流来驱动的,而所述帧的另一子帧是使用第二驱动电流来驱动的。

12. 一种用于驱动具有包括驱动晶体管、发光器件以及数模转换器的像素的有源矩阵显示器的数字驱动电路,所述数字驱动电路还包括:

-用于通过针对每一像素将n比特数字图像截短(n-m)个最低有效位或最高有效位来将由所述n比特数字图像表示的连贯诸帧转换成(m+1)比特数字图像的装置,其中 $m < n$,以及用于将指示编码在(m+1)个比特中的装置,

-其中所述数模转换器被配置成如果截去(n-m)个最低有效位,则向所述(m+1)比特数字图像的每一像素提供第一驱动电流,且如果截去(n-m)个最高有效位,则向所述(m+1)比特数字图像的每一像素提供第二驱动电流,其中所述第一驱动电流与所述第二驱动电流的比率使得它造成 $2^{(n-m)}$ 的明度比率,并且其中所述指示提供与要使用的驱动电流有关的信息。

13. 如权利要求12所述的数字驱动电路,其特征在于,用于转换的装置包括诸如gamma

曲线或PQ曲线等电光传递函数或从电光传递函数导出的查找表。

14. 如权利要求12或13所述的数字驱动电路,其特征在于,执行从所述第一电流到所述第二电流的转变,使得它造成低于根据人类视觉系统的模型评估的最小可检测对比的亮度增加。

15. 如权利要求14所述的数字驱动电路,其特征在于,所述人类视觉系统的模型基于以下中的至少一者:最小可觉差、Barten模型、韦伯定律、De Vries-Rose平方根律、PQ曲线。

16. 如权利要求12到15中的任一权利要求所述的数字驱动电路,其特征在于,所述有源矩阵显示器的像素是LED或OLED像素。

17. 如权利要求11到16中的任一权利要求所述的数字驱动电路,其特征在于,每一帧能被分成诸子帧。

18. 如权利要求17所述的数字驱动电路,其特征在于,帧的一子帧是用第一驱动电流来驱动的,而所述帧的另一子帧是使用第二驱动电流来驱动的。

19. 一种包括如权利要求12到18中的任一项所述的数字驱动电路的LED或OLED显示器。

20. 如权利要求19所述的LED或OLED显示器,其特征在于,其被适配成生成所述有源矩阵显示器的输出以用于光学测量来确定产生 $2^{(n-m)}$ 的明度比率的第一和第二驱动电流。

21. 如权利要求19或20所述的LED或OLED显示器,其特征在于,其被适配成向像素集提供驱动电流来显示测试图案。

22. 如权利要求21所述的LED或OLED显示器,其特征在于,其被适配成根据Barten驱动所述显示器的像素集来显示测试图案。

23. 如权利要求20所述的LED或OLED显示器,其特征在于,所述像素集是拼接显示器的一片或所述拼接显示器。

用于LED显示器的驱动器

技术领域

[0001] 本发明涉及诸如LED或OLED显示器等显示器的领域。以及制造或操作此类显示器的方法,以及用于执行此类方法的软件。

背景技术

[0002] 实现高动态范围显示器和发光器件的问题在现有技术中是已知的。

[0003] US6987787B1描述了用于宽范围明度控制的LED亮度控制系统。发光二极管(用作液晶显示器的背光)的明度必须被控制在至少20000到1的范围上。

[0004] US6987787B1描述了一种LED控制系统,其中PWM信号的占空比与电流脉冲的振幅同时被调制。使用8比特来对占空比进行编码且也使用8比特对电流脉冲的振幅进行编码将给出总共65536明度范围。

[0005] PWM信号的占空比和电流脉冲的振幅这两者的调制将允许在较低明度级更小的明度步进和在较高明度级更大的明度步进。

[0006] US6987787B1没有提及如何在解决带宽约束(这将需要在小于16比特上对明度进行编码)的同时,维持在至少20000到1的范围上控制明度的能力。

[0007] 具体而言,US6987787B1没有讨论如何防止可能因变于明度的每LSB的明度步进的变化而导致的视觉伪像。

[0008] 这不是背光系统的LED所关注的,因为它们未被用作像素,并且US6987787B1没有提供如下解决方案:使用经缩减比特深度驱动LED显示器的个体LED,同时维持明度范围并且没有引入视觉伪像。

[0009] 在US8339053中,描述了“LED调光装置”,它利用两种调光机制来控制LED发光器件的明度。

[0010] 在第一“较低明度”机制中,流过LED的电流是使用恒定电流脉冲振幅调制的脉宽。在第二“较高明度”机制中,流过LED的电流按模拟方式来控制并且没有脉冲化。流过LED的电流是连续的,并且其振幅通过恒定电流电路来确定。

[0011] US8339053没有提供用于驱动LED显示器的诸个体LED的可行解决方案。US8339053没有讨论视觉伪像的问题,尤其是在以不同电流振幅驱动诸LED时必定存在的色彩伪像。

[0012] 为进一步解说现有技术的缺点,考虑具有高于20000到1明度范围的LED显示器。此类高明度范围需要每LED至少16比特。

[0013] 经脉宽调制的电流被用来驱动LED或OLED, $2^{16}-1$ 级明度对应于 $2^{16}-1$ 不同占空比D。最低可能占空比将对应于如下电流脉冲:其周期是一个帧的 $1/(2^{16}-1)$ 。

[0014] 为了防止闪烁,可以选择将一个帧时间(区间)拆分成64个区间。

[0015] 占空比每次增加 $1/(2^{16}-1)$,周期为一个帧的 $1/(2^{16}-1)$ 的子脉冲就被添加在这64个区间之一中。这64个区间中的每一者可接纳最大1024个此类子脉冲。

[0016] 如果一个帧的周期是 $1/60s$,则一个子脉冲的周期是 $254ns$ 。

[0017] 当前可现货购得的LED驱动器通常具有每色16输出。当前LED驱动器的示例是

Texas Instruments (德州仪器)的TLC5940-EP它是具有点修正和灰度PWM控制的16通道LED驱动器。最新LED驱动器可以驱动16个RGB LED。Barco nv Belgium的X1.6 LED片具有120*135的LED阵列。这意味着需要超过1013个驱动器。从印刷电路板设计的观点来看,这几乎不可能将此大数目电流LED驱动器放置并布线在LED片的背部。随着每片的LED数目增加,这一情形甚至更糟。

[0018] 现有技术已知的解决方案是编组 (banking)。编组意指诸LED连接到LED驱动器的同一输出。常用编组数目是8、12、16、32、……。电流LED驱动器的数目减少,但在每一LED驱动器的输出处需要更高电流来达到在帧的历时期间取平均的相同明度级。编组(编组数目是4)的示例在图2上给出。

[0019] 另一缺点是这需要对诸LED被驱动的时间进行复用。在没有以上示例中的编组的情况下,一个帧内有 2^n 个时钟脉冲,现在如果存在16编组,则需要 $2^n \times 16$ 个时钟脉冲。这意味着驱动诸LED的时钟频率将增高16倍。

[0020] 了解到驱动器的最大时钟速率是 $\pm 30\text{MHz}$,则在一个帧内 $2^n \times 16$ 个时钟脉冲不再是能够达到的。采用16编组的示例,则 $60\text{Hz} \times 2^{16} \times 16$ 个编组=63MHz。

[0021] 用于显示器片的LED驱动器的设计者因而面对以下两难:

[0022] -限制编组的数目减轻了能使用针对电流脉冲的单个电流振幅覆盖的明度范围的问题。然而,这增加了每片的LED驱动器的数目,并且因而增加该片的成本(假定这是可能的)。限制要显示的比特数目显著减轻了带宽问题。例如,每色每像素从16比特到14比特以因子4来降低了所需带宽。然而,在低明度处损失了细节,并且取决于不同色的LED的行为,色域可能受到影响。

[0023] 现有技术需要改进。

[0024] 发明概述

[0025] 根据本发明的一方面,提供了一种使用图像数据来驱动具有包括驱动晶体管和发光器件的像素的有源矩阵显示器的方法,所述图像数据表示要在连贯诸帧中显示的图像,所述方法包括:

[0026] -通过针对每一像素将n比特数字图像截去(n-m)个最低有效位或最高有效位来将由n比特数字图像表示的每一帧转换成(m+1)比特数字图像,其中 $m < n$,并将指示编码在(m+1)个比特中,

[0027] -如果截去(n-m)个最低有效位,则向所述(m+1)比特数字图像的每一像素提供第一驱动电流,且如果截去(n-m)个最高有效位,则向所述(m+1)比特数字图像的每一像素提供第二驱动电流,其中所述第一驱动电流与第二驱动电流的比率使得它造成 $2^{(n-m)}$ 的明度比率,并且其中所述指示提供与要使用的驱动电流有关的信息。

[0028] 产生 $2^{(n-m)}$ 的明度比率的第一和第二驱动电流可通过对有源矩阵显示器的输出的光学测量来确定。

[0029] 明度与驱动电流之间的关系可至少部分地是非线性的。

[0030] 如果单个比特被用于(m+1)比特,则只有两个电流由这一比特来编码,由0或1来编码。基于Barten曲线/PQ曲线,需要显示测试图。优选地,数个像素被用来确定用于提供 $2^{(n-m)}$ 的明度比率的最大的和最小的电流。例如,在显示图案时,拼接显示器的一片或拼接显示器可被用来生成输出。

[0031] 因此,光学测量可使用显示测试图案的像素集来作出,诸如根据Barten。

[0032] 本发明的优点是对硬件的定时约束以因子 $2^{(n-m)}$ 被降低。发送给驱动器的数据不是n比特而是(m+1)比特,包括要使用高或低电流中的哪一者的指示符。这降低到LED或OLED驱动器的带宽。此外,当比特数目降至m时,不再在低明度处损失细节且色域不受影响。此外,带宽被极大地改进。

[0033] 在本发明的实施例中,转换可使用诸如gamma曲线或PQ曲线等光电传递函数或从光电传递函数导出的查找表来执行。

[0034] 在本发明的优选实施例中,执行从所述第一电流到所述第二电流的转变,使得它造成低于根据人类视觉系统的模型评估的最小可检测对比的亮度增加。

[0035] 因而,因为较低电流被用于较低明度范围,它表现得如同显示器是n比特显示器(虽然被实现为m比特显示器),并且对于较高范围,具有较高电流,也提供了与n比特显示器相同的行为,因为在不能观察到差异的区域中执行了电流改变。不能被观察的问题可通过遵循人类视觉系统的模型来确定。

[0036] 优选地,人类视觉系统的模型基于以下中的至少一者:最小可觉差、Barten模型、韦伯定律、De Vries-Rose平方根律、PQ曲线。

[0037] 有利地,Barten模型和PQ曲线已证明对于这一类型的显示器非常高效,并且还被实现为本技术领域的标准。

[0038] 在本发明的优选实施例中,有源矩阵显示器的像素是LED或OLED像素。

[0039] 在本发明的优选实施例中,每一帧可被分成诸子帧。

[0040] 有利地,帧的一子帧是用第一驱动电流来驱动的,而所述帧的另一子帧是使用第二驱动电流来驱动的。

[0041] 根据本发明的另一方面,提供了一种用于驱动具有像素的有源矩阵显示器的数字驱动电路,像素中的每一者可包括驱动晶体管、发光器件和数模转换器,所述数字驱动电路还包括:

[0042] 用于通过针对每一像素将n比特数字图像截短(n-m)个最低有效位或最高有效位来将由所述n比特数字图像表示的连贯诸帧转换成(m+1)比特数字图像的装置,其中 $m < n$,以及用于将要使用哪一电流的指示编码在(m+1)个比特中的装置,

[0043] 其中所述数模转换器被配置成如果截去(n-m)个最低有效位,则向所述(m+1)比特数字图像的每一像素提供第一驱动电流,且如果截去(n-m)个最高有效位,则向所述(m+1)比特数字图像的每一像素提供第二驱动电流,其中所述第一驱动电流与所述第二驱动电流的比率使得它造成 $2^{(n-m)}$ 的明度比率,并且其中所述指示提供与要使用的驱动电流有关的信息。

[0044] 产生 $2^{(n-m)}$ 的明度比率的第一和第二驱动电流可通过对有源矩阵显示器的输出的光学测量来提前(例如,在工厂校准中)确定。

[0045] 如果单个指示符比特被用于(m+1)比特,则只有两个电流由这一比特来编码,由0或1来编码。

[0046] 在本发明的实施例中,用于转换的装置包括诸如gamma曲线或PQ曲线等光电传递函数或从光电传递函数导出的查找表。

[0047] 有利地,执行从所述第一电流到所述第二电流的转变,使得它造成低于根据人类

视觉系统的模型评估的最小可检测步进或对比的亮度增加。

[0048] 优选地,人类视觉系统的模型基于以下中的至少一者:最小可觉差、Barten模型、韦伯定律、De Vries-Rose平方根律、PQ曲线。

[0049] 在本发明的优选实施例中,有源矩阵显示器的显示是LED或OLED像素。

[0050] 优选地,每一帧可被分成诸子帧。

[0051] 有利地,帧的一子帧是用第一驱动电流来驱动的,而所述帧的另一子帧是使用第二驱动电流来驱动的。

[0052] 根据本发明的又一方面,提供了一种包括上述数字驱动电路的LED或OLED显示器。

[0053] 在本发明的任一实施例中,低通滤波器可被用来平滑电流输出。然而,记住明度与亮度相同,但是由人眼感知的,人眼充当对光脉冲序列取平均的低通滤波器。所以对于PWM驱动脉冲,一个PWM周期期间的明度或平均亮度可由眼睛LPF(低通滤波器)来过滤。因而,一般而言,不存在向显示器提供低通滤波器的需求。

[0054] 根据与显示器相关的本发明的实施例的技术效果和优点在细节上作必要修改后对应于根据本发明的方法的那些相应实施例。

附图说明

[0055] 本发明的实施例的这些以及其他技术方面和优点现在将参考附图更详细地描述,其中:

[0056] 图1解说了有源矩阵的示意性示图。

[0057] 图2解说了编组的示例。

[0058] 图3示出了具有因变于跨显示表面沿给定方向的位置(通常是一行或一列像素或子像素)的正弦测试图的亮度。

[0059] 图4示出了具有因变于跨显示表面沿给定方向的位置(通常是一行或一列像素或子像素)的方波测试图的亮度。

[0060] 图5示出了显示在显示表面上的测试图,其中亮度随着叠加到平均亮度的方波而变化。

[0061] 图6示出了无源矩阵的原理示意图。

[0062] 图7示出了12比特Rec1886 γ 曲线,峰值亮度为100、1000以及10000 cd/m^2 。

[0063] 图8示出了矩形脉冲波的示例。

[0064] 图9示出周期T上的脉冲,其成分分布在一个周期上的4个子脉冲SP1、SP2、SP3和SP4。

[0065] 图10A示出具有占空比为 T_{cl}/T 的脉宽调制信号。

[0066] 图10B示出分成四个子脉冲的脉冲P,每一子脉冲发生在如下区间之一中:在该区间中,周期T被如在图10A上解说地划分。

[0067] 图11A示出了脉冲振幅 I_{\max} 。

[0068] 图11B示出了脉冲振幅 I_{\min} 。

[0069] 图12示出根据本发明的实施例的所采取来截去BD1(例如,16)比特的步骤。

[0070] 图13示出了根据本发明的实施例的截短四个最高有效位和增加CPA比特。

[0071] 图14示出了根据本发明的实施例的截短四个最低有效位和增加CPA比特。

[0072] 图15示出斜波和方波图案的Barten曲线,并且该曲线示出在使用被限于12和16比特位深的线性LED或OLED驱动器时, $\Delta L/L$ 如何因变于L变化。对于12比特位深情形,给出两个曲线:根据本发明的实施例,第一曲线具有低电流,而第二曲线具有高电流。

[0073] 图16a示出了根据本发明的实施例的从具有低电流的12比特到具有高电流的12比特的转变。

[0074] 图16b示出了根据本发明的实施例的在使用具有12和16比特位深的线性LED或OLED驱动器时因变于L(亮度)的曲线 $\Delta L/L$,以及针对斜波和方波图案的Barten曲线。

[0075] 图17A示出了根据本发明的实施例的电流源。

[0076] 图17B示出了根据本发明的实施例的另一电流源。

[0077] 图18A解说了所有时间区间的总和等于本发明的实施例中使用的PWM周期T。

[0078] 图18B示出了根据本发明的实施例的用来形成12比特电流DAC的12个电流源1的示意图。

[0079] 图19A解说了电流的振幅在与LSB B0相对应的时间区间TLSB期间是 I_{max} ,且电流的振幅在与第三比特B2相对应的时间区间 $4*TLSB$ 期间是 I_{min} 。

[0080] 图19B类似于图18B,其中根据本发明的实施例,输入信号或控制比特可针对每一电流源被独立地设置成高或低。

[0081] 图20示出了根据本发明的实施例的启用从低电流模式到高电流模式的较少突变的电路。

[0082] 图21示出了根据本发明的实施例的电流脉冲的振幅在占空比的一部分期间具有第一值且在占空比的另一部分期间具有第二值的PWM信号。

[0083] 图22示出了根据本发明的实施例的具有不同脉冲历时和不同振幅的PWM信号。

[0084] 图23示出了从第一脉冲电流振幅 I_{min} 到第二脉冲电流振幅的经修改转变的示例。

[0085] 图24示出了两个不同LED的相对亮度(y轴)与LED中的正向电流(x轴)之间的非线性函数关系。

[0086] 图25示出了因变于L的 $\Delta L/L$,以及PQ曲线,例如针对斜波的Barten曲线和针对方波的Barten曲线。

[0087] 图26和27示出了在 I_{Tr} 和 I_{Max} 是电流脉冲的振幅的情况下所获得的曲线 $\Delta L/L$ 。这可视化了在占空比增加时以及电流脉冲的振幅从 I_{Tr} 增加到 I_{Max} 时所发生的事物。

[0088] 图28示出了图25的细节。

[0089] 定义和首字母缩略词。

[0090] 有源矩阵。有源矩阵是平面显示器中使用的一种类型的寻址方案。在对个体元件(像素)进行开关的这一方法中,每一像素附连到在其他像素正被寻址的同时有源地维持该像素状态的晶体管 and 电容器。有源矩阵的示意图在图1上给出。

[0091] 编组。编组意味着多个LED或OLED分别连接到LED或OLED驱动器的同一输出。这具有LED或OLED驱动器的数目显著降低的优点。常用编组数目是4、8、12、16、32。编组的示例在图2上示出。在该示例中,编组数目是4。LED或OLED驱动器20的输出30连接到4个LED或OLED而非单个。四个LED或OLED(21,22,23,24)中的每一者通过开关(25,26,27,28)连接到电源29。在任何给定时间,诸开关中仅一者闭合。

[0092] Barten(曲线)。

[0093] Barten模型对于适光条件下的小凹视觉是有效的。这已经用涵盖从0.0001到1000cd/m²的亮度范围的多次实验来证明。“Barten曲线”表示因变于平均亮度的对比灵敏度卷积。

[0094] Barten曲线是因变于全局明度的可见明度步进的阈值。该曲线下方的所有值不是人眼可见的。

[0095] 全局明度是基于显示在所考虑的显示器(具体而言,LED或OLED显示器)上的给定测试图来定义的。

[0096] 例如,测试图可以是在显示器的一个方向上的正弦分布(如在图3上解说的)。图3示出了因变于跨显示表面沿给定方向的位置(通常是一行或一列像素或子像素)的亮度。

[0097] 亮度(轴31)如正弦波一样变化(或更确切而言,如常数+正弦波一样变化: $L=L_0+A*\sin(\alpha x)$,其中 L_0 是常数或基线亮度, x 是跨显示表面沿给定方向的位置, A 和 α 是常数),并且在最大值33 (L_{Max}) 和最小值34 (L_{Min}) 之间变化。

[0098] 对比敏感度函数(CSF)是可由显示器的观察者看到的最小调制的倒数。在这一示例中,调制由 $m=(L_{Max}-L_{Min})/(L_{Max}+L_{Min})$ 给出。

[0099] CSF是可见最小调制的倒数:

[0100] $CSF=1/m_{min}$

[0101] 代替正弦波调制,可使用方波。图4示出亮度跨测试图案(如图5上的测试图案)沿方向D如何变化。图5示出显示在显示表面上的测试图案50(完整显示或拼接显示器的一片)。沿方向“D”,亮度如方波叠加到平均亮度一样变化, $L(x)=L_0+$ 方波(x),其中 x 是沿方向“D”的位置。方波具有覆盖至少两个像素但可包含超过2个像素的周期P(51)。

[0102] 测试图案也可以是其上叠加方波或正弦波的斜波。

[0103] 这一Barten模式示出了在最小可检测对比步进方面因变于亮度的人眼的数学表示。

$$[0104] \quad CSF = \frac{1}{m_t} = \frac{M_{opt}(u)/k}{\sqrt{\frac{2}{T} \left(\frac{1}{X_0^2} + \frac{1}{X_{max}^2} + \frac{u^2}{N_{max}^2} \right) \left(\frac{1}{\eta p E} + \frac{\phi_0}{1 - e^{-(u/u_0)^2}} \right)}}$$

[0105] 其中:

$$[0106] \quad M_{opt}(u) = e^{-2\pi^2 \sigma^2 u^2}$$

$$[0107] \quad \sigma = \sqrt{\sigma_0^2 + (C_{ab} d)^2}$$

$$[0108] \quad d = 5 - 3 \tanh \left(0.4 \log \left(\frac{L X_0^2}{40^2} \right) \right)$$

$$[0109] \quad E = \frac{\pi d^2}{4} L \left(1 - \left(\frac{d}{9.7} \right)^2 + \left(\frac{d}{12.4} \right)^4 \right)$$

[0110] 以下参数可被用于本说明书中示出的示例:

	k	3
	σ_0	0.5 弧度 分钟
	C_{ab}	0.08 弧度分钟/ 毫米
	T	0.1 秒
	X_{MAX}	12 度
[0111]	N_{MAX}	15 个循环
	η	0.03
	ϕ_0	3×10^{-8} 秒 度 ²
	u_0	7 循环/度
	p	1.285×10^6 光子/ 秒/度 ² /Td
	u	1
	X_0	40 度

[0112] m_t 是最小调制阈值：

$$[0113] \quad m_t = \frac{1}{CSF} = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

[0114] 并且

$$[0115] \quad \Delta L = L_{max} - L_{min}$$

$$[0116] \quad L_{ave} = \frac{L_{max} + L_{min}}{2}$$

[0117] 其中：

$$[0118] \quad C_{t,SINE} = \frac{\Delta L_{min,SINE}}{L_{AVE}} = \frac{2}{CSF}$$

[0119] 根据Barten曲线,这些是正弦图案的最小可检测对比步进。

[0120] 对于方波或斜波：

$$[0121] \quad C_{t,SQW} = \frac{\Delta L_{min,SQW}}{L_{AVE}} = \frac{\pi}{2 CSF}$$

$$[0122] \quad C_{t,RAMP} = \frac{\Delta L_{min,RAMP}}{L_{AVE}} = \frac{\pi}{CSF}$$

[0123] 这些曲线将被用作与该系统执行得有多好的基准。方波图案将提供其后伴有该正弦图案和斜波的最低值。

[0124] BD或位深。用来解码例如像素的亮度、灰度、颜色……的位数。

[0125] 对比、对比度、对比敏感度。

[0126] 如果亮度差很大,则诸对象一般可更好地彼此区分开。相对亮度差比绝对差更重要。这一相对差可由两个亮度值之间的比率来表达且被称为对比度。这一相对差也可由两个亮度值之差除以它们的总和来表达,这被称为对比。(由人眼)检测所需的最小对比的倒数被称为对比敏感度。

[0127] 不同测试图案可被用来评估对比、对比度和对比敏感度。

[0128] 测试图案之一是正弦亮度图案。在该情形中,对比由正弦变化的振幅除以平均亮度来定义。该量被称为调制深度或调制。对该图案的检测所需的最小调制被称为调制阈值。

[0129] 在对比敏感度是使用非正弦亮度变化来测量时,对比由最大和最小亮度之差除以它们的总和来确定。这被称为Michelson对比。

[0130] 数模转换器(DAC)。用于将二进制或数字码转换成模拟信号的设备。DAC设备将抽象有限精度数字(通常是固定点二进制数)转换成明确的物理变量,诸如电压、压力、亮度或明度。

[0131] 可在Paul Horowitz的“The Art of Electronics(电子学)”第三版中发现PWM作为数模转换器。使用PWM DAC,被驱动系统通常充当将经调制信号按时间平均的低通滤波器。如在Horowitz给出的示例中,PWM信号可驱动发光二极管。具体而言,它阐明由PWM信号驱动的系统正缓慢作出响应(即,该系统是低通滤波器)。因此,PWM DAC可以是按时间平均的DAC。人眼可充当低通滤波器,所以根据本发明的装置不需要此类滤波器。

[0132] 对于DAC(且具体而言PWM DAC),参见:

[0133] (a)“利用脉宽调制的数模转换器”参见US4590457A

[0134] (b)“脉宽调制数模转换器”,参见US 6191722

[0135] 技术人员还知悉PWM单元是从DC电机控制所知的。所传送的能量与平均电流相关,例如电流在一个PWM周期期间绝对不保持恒定。通常被采样和保持的本发明的实施例可利用常规DAC,即使得输出电流保持恒定,直至新二进制码被输入到DAC和所请求的转换。然而,本发明的实施例可利用脉冲或可变驱动电流。

[0136] 占空比。术语占空比描述‘开启’时间与时间的规则区间或‘周期’的比例;低占空比对应于低功率,因为对于大多数时间而言功率是关闭的。占空比是以百分比来表达的,100%是完全开启。

[0137] EOTF电光传递函数。它描述了如何将数字码字转换成所显示的亮度。EOTF的示例是基于CRT物理学的Gamma曲线,以及由Dolby针对HDR引入的PQ曲线(0到10,000cd/m²的动态范围且通常10-12比特)。理想地,EOTF应当根据人类视觉响应模型来定义。

[0138] Gamma函数具有以下表达式:

$$[0139] Y_{\text{Gamma}} = L * V^{\gamma}$$

$$[0140] 0 \leq V \leq 1$$

[0141] L是显示器的最大明度,且V是归一化数字输入值。

[0142] PQ曲线具有以下表达式:

$$[0143] \quad Y_{PQ} = L * \left(\frac{V^{\frac{1}{m}} - c_1}{c_2 - c_3 V^{\frac{1}{m}}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$0 \leq V \leq 1$$

[0144] 以下参数是针对本发明的实施例中示出的示例来选择的：

[0145]	m	78.8438
	n	0.1593
	c ₁	0.8359
	c ₂	18.8516
	c ₃	18.6875
	L	10.000
		cd/m ²

[0146] 标准PQ曲线从0cd/m²到10.000cd/m²。如果显示器上的最大亮度限制是2500cd/m²，则存在两个选项：

[0147] 1) 遵循标准PQ曲线并在最大亮度处裁剪

[0148] 2) 在0和2500cd/m²之间重新计算标准PQ曲线。

[0149] 选项1具有以下优点：在比较具有相同输入和PQ曲线的两个显示器时，它们将示出完全相同的内容。然而，高于2500cd/m²的所有值将具有相同的明度值。

[0150] 选项2具有以下优点：全数字输入范围被使用。然而，输入对输出的关系丢失，并且在非理想显示器上，更多低亮值被丢弃。

[0151] 闪烁。闪烁是两个连贯帧或更一般而言两个连贯周期（例如，PWM信号的两个连续周期）之间的可见变暗或明度降低。

[0152] 帧。帧是一系列图片的一个图片，例如在影片的长度视频上。帧也可意味着用于显示（在显示器上或拼接显示器的一片上）的完整图像。在一些上下文中，帧也可意味着帧被显示的时间区间。

[0153] JND。最小可觉差。在集中于感觉、知觉和感知的实验心理学的分支中，最小可觉差或JND是必须改变某些事物才使差在至少一半时间（绝对阈值）是能被察觉、可检测的量。这一阈限也被称为差别阈限、差分阈值、或最小可察觉差。在LED或OLED显示器中，尤其对将由人类视觉系统感知的最小亮度步进感兴趣。

[0154] 韦伯定律有时单独地或结合其他定律来被用来定义JND。韦伯定律定义JND和参考明度之间存在恒定关系。

[0155] 韦伯定律或分数可表达为

$$[0156] \quad \frac{\Delta I}{I} = K_w,$$

[0157] 其中 K_w 被称为韦伯分数,并且其中 ΔI 是强度增量(或强度的最小可觉增量),且 I 是初始强度。换言之,韦伯分数提供初始强度(或参考明度)与强度的最小可觉增量(或JND)之间的关系。根据这一定律,最小可觉对比(即,对比敏感度的倒数)是恒定的,而不管亮度如何。据信,比率在1/50和1/100之间。然而,它在低于和高于某一明度时增长。

[0158] 根据韦伯定律,对每一明度确定每一JND是可能的。

[0159] 韦伯定律在整个明度范围上可能不是有效的。对于非常低和非常高的强度,韦伯分数是过于严格的。因此,对于低亮度,可使用De Vries-Rose平方根律:

$$[0160] \quad \frac{\Delta I}{I} = k \times I^{-1/2},$$

[0161] 这一点的原点是光子噪声,即光脉冲中的光子数目在特定亮度处不是完全固定的,而是根据泊松分布在一平均值周围改变“一点”(扩散)。这意味着亮度差或增量 I 必须足够大才能够与背景亮度的波动区分开。韦伯分数在整个范围上是最严格的,使得如果符合韦伯分数,则还将自动符合De Vries-Rose平方根律。因而,韦伯定律是定义JND时使用的合适定律,但通过使用其他定律/法则可存在更好解决方案。

[0162] LED显示器。

[0163] 来自同一申请人的以下专利提供了LED显示器和相关术语的定义。它们由此通过援引纳入来用于这些术语的定义。

[0164] US7972032B2“LED组装件”,

[0165] US7176861B2用于发射性显示器的具有优化子像素大小的像素结构,

[0166] US7450085智能发光模块和此类智能发光模块的操作的方法,

[0167] US7071894用于在显示设备上显示图像的方法和设备。

[0168] 对LED显示器的引用包括OLED显示器。

[0169] LSB。最低有效位。

[0170] 亮度(L)。在给定方向上投影的每单位面积的发亮强度。SI单元是每平方米坎德拉,有时还称为尼特。在文献中,亮度和明度通常互换地使用,即使亮度和明度不是同一个和同一事物。在此,每当使用“明度”上,发明人意指“亮度”。

[0171] 在设计LED或OLED显示器时尤其重要的是亮度与通过LED或OLED显示器中使用的LED或OLED的正向电流之间的函数关系。图24示出了相对亮度因变于由诸如Nichia等公司商业化的LED中的正向电流如何变化。例如蓝色LED的非线性比例如红色或白色LED的非线性可能更强。然而,在任何显示器中,存在至少一些OLED或LED具有因变于正向电流而按非线性方式变化的相对亮度的高概率。在此类情形中,必须针对正向电流值获得明度或亮度,例如通过使用显示在显示器上的图案来通过光学进行光学测量以确定这一非线性关系。一旦这些测量已完成,电流可被选择,这产生明度的因子2,在正向电流中它一般不能由因子2实现。

[0172] MSB。最高有效位。

[0173] 无源矩阵。无源矩阵寻址是早期LCD中使用的寻址方案。这是意味着只需 $m+n$ 个控制信号来对 $m \times n$ 显示器进行寻址的矩阵寻址方案。无源矩阵中的像素必须在没有有源驱动电路单元的情况下维持其状态,直至它可被再次刷新。图6示出了无源矩阵的原理示意图。

[0174] 该附图在来自本申请的同一申请人的US7262753专利中被示为图2。所述附图的描

述由此通过援引纳入于此。

[0175] PQ曲线或感知量化曲线。图7。

[0176] 由Dolby™引入的这一标准已由SMPTE以SMPTE ST 2084来发布。它定义允许以高达10,000cd/m²的亮度级来显示高动态范围(HDR)视频并可与Rec.2020色彩空间一起使用的传递函数。PQ是非线性电光传递函数(EOTF)。

[0177] 图7在以下公布中示出,来自SMPTE会议演示“Perceptual Signal Coding for More Efficient Usage of Bit Codes(用于比特码的更高效使用的感知信号编码)”,它进一步描述到:“用于电视机的ITU-R Rec.BT.1886EOTF,通常称为“gamma编码”,通常据说在感知上是线性的。与超高清电视(UHDTV)有关的最近ITU报告(Report ITU-R BT.2246),使用伸缩Barten对比敏感度函数(称为“Barten(Ramp)”)连同Schreiber的替换阈值函数,以解说用于HDTV的ITU-R Rec.BT.1886EOTF如何表现得类似于人类感知,并且接近或低于10和12比特实现的视觉检测阈值。虽然这大致是具有100cd/m²(或100尼特)的gamma曲线的情形,如在图1中所示,在使用较高峰值亮度级时,12比特gamma曲线快速上升高于Barten和Schreiber阈值这两者,从而暗示出可见量化伪像——尤其是在亮度范围的暗端——将变得可能。虽然系统精度可通过使用较高位深来增加,但常规基础设施将难以超出12比特。事实上,大多数实况生产和广播环境仍然在10比特级操作,所以可在这些常见位深下提供经改进性能的系统将是理想的。”

[0178] PWM(脉宽调制)。脉宽调制使用矩形脉冲波,其脉宽被调制,从而造成波形的平均值的变化。图8示出了此类矩形脉冲波的示例。

[0179] 方波具有周期T、下限I₀(在我们的情形中通常是0)、上限I₁和占空比D。一个脉冲P的历时(信号处于其上限的时间)是D/100*T(在D是以%来表达的情况下)。例如,如果D=50%,在脉冲的历时是1/2T。

[0180] 在一些情形中,脉冲P的形状如在图9所示地修改。如果周期T“很长”或者与重要的物理过程的时间常数是相同量级,则将脉冲“拆分”成遍布在该波的一个周期上的若干子脉冲可以是有利的。在图9中,一个周期T已被分成跨一个周期分布的4个子脉冲SP1、SP2、SP3和SP4。

[0181] 取决于应用,将一个周期分成多于4个区间可以是合需的。

[0182] 在数字系统中,脉冲的历时是时钟周期T_{cl}的倍数。对于给定T和T_{cl}而言,可达到的最小占空比因而是T_{cl}/T。

[0183] 如果占空比被设置在其最小值T_{cl}/T,则脉宽调制信号将在图10A上看到。如果占空比进一步增加T_{cl}/T,则脉冲P可被拆分成两个或更多个子脉冲,每一子脉冲占据周期T所被分成的区间之一,如在图10B上解说的。

[0184] 随着占空比进一步增加,区间中的每一者被填充,使得子脉冲的总历时等于D*T。

[0185] 在I₀=0的情况下,在二极管中循环的平均电流⟨I⟩是:

[0186] $\langle I \rangle = I_1 * D / 100$ (其中D是以%来表示的) 或

[0187] $\langle I \rangle = I_1 * D$ (其中D是以T的分数来表示的,作为区间[0,1]中的实数) 在LED或OLED显示器中,诸帧以例如60Hz的频率(对应于T=1/60s)来被显示。在LED或OLED是用PWM信号驱动时,将脉冲拆分成诸子脉冲可降低可见闪烁(考虑到低于100Hz的频率的任何事物可被人眼看到)。将脉冲拆分成诸子脉冲可被看作将频率增加多达N倍,其中N是周期被分成的区

间数目。

[0188] 即使在这些情形中,电流的波形也可能不严格是PWM信号的波形,但在讨论LED或OLED电流驱动方案时将参考PWM。

具体实施方式

[0189] 将就具体实施例并且参考特定附图来描述本发明,但是本发明不限于此而仅由权利要求书来限定。所描述的附图仅是示意性的且是非限制性的。在附图中,出于说明性目的,可将要素中的一些要素的尺寸放大且不按比例绘制。在本说明书和权利要求书中使用术语“包括”时,该术语不排除其他元件或步骤。此外,说明书和权利要求书中的术语第一、第二、第三等被用于在类似元素之间进行区分,而不一定用于描述顺序或时间次序。应理解,如此使用的术语在适当的情况下是可互换的,并且本文中所描述的本发明的实施例能够以与本文中所描述或图示的不同的顺序来进行操作。

[0190] 在本发明中,输入图像数据用来驱动具有包括驱动晶体管和发光器件的像素的有源矩阵显示器,输入图像数据表示要在连贯诸帧中显示的图像。这意味着存在 $(2^n)^3$ 种色彩。它还意味着最大显示亮度按 2^n 个步进来划分,并且这因而是在使用线性电光传递函数的情况下可被显示的最小可能亮度。

[0191] 这 n 个比特被给到可在其中实现EOTF的LUT。这一LUT的输出在比特数目(m)方面也是受限的。这一限制由显示器的硬件来设定。

[0192] 如早先讨论的,最短子脉冲宽度的历时 T_{c1} 将确定LED显示器的诸LED的位深或明度级数目。

[0193] 例如,一旦帧的历时 T 是已知的,则占空比 D 的不同值的最大数目是: T/T_{c1} 。如果 $T=1/60s$ 且 T_{c1} 是 $254ns$,则明度级的最大数目 N 是 65616 ,这稍大于 $2^{16}-1$ 。换言之, T 和 T_{c1} 的这一特定选择符合16比特LED或OLED驱动器。

[0194] 最低非零明度级将使用如在图10A中表示的PWM信号来达到。

[0195] 如果最短子脉冲的历时具有高于 T_{c1} ($254ns$)的下边界,则使用特定位深 $BD1$ (诸如16比特)将是不可能的,且使用电流脉冲振幅的恒定值可达到的明度级数目将小于最大比特数 $2^{BD1}-1$,诸如 $2^{16}-1$ 。

[0196] 如果比特数目被局限到较低水平 $BD2$,诸如12比特,则 T_c 将受限,诸如 $T_{c1} \approx 4\mu s$ (或更小),其中 $T=1/60s$ 。

[0197] 为了能够在 $T_{c1} \approx 4\mu s$ 的情况下达到与 $254ns$ 相同的明度,电流脉冲的最大振幅 I_{Max} 必须被降低。

[0198] 因而,通过降低流过OLED或LED的电流,使得OLED或LED的明度低16倍,将达到16比特显示器的明度。换言之,通过将电流除以因子 F 而省下4个额外比特,这不一定等于16 (因为LED或OLED中的正向电流和所得亮度之间的非线性关系)。归因于流过LED或OLED的电流与LED或OLED的亮度的非线性, I_{min} 和 I_{max} 之间的比率不等于16。为了获得 $L_{min}/L_{max}=1/16$ 的比率,一个选项是测量LED或OLED显示器的光学输出以确定哪些电流 I_{min} 和 I_{max} 提供这一亮度比率。测量可使用在像素集上、在拼接显示器的一片上、或在整个拼接显示器上显示的图案来作出。图案可以是Barten图案。

[0199] 更一般而言,根据本发明,如果输入图像数据是使用 $BD1$ 个比特来编码的,则通过

针对每一像素截去BD1比特数字图像的(BD1-BD2)个最低有效位或最高有效位,来将每一输入图像转换成(BD2+1)比特数字图像,其中BD2<BD1,并将指示编码在(BD2+1)个比特中,

[0200] 如果截去(BD1-BD2)个最低有效位,则向(BD2+1)比特数字图像的每一像素提供第一驱动电流(I_{\max}),且如果截去(BD1-BD2)个最高有效位,则向(BD2+1)比特数字图像的每一像素提供第二驱动电流(I_{\min}),其中第一驱动电流(I_{\max})与第二驱动电流(I_{\min})的比率使得它造成 $2^{(BD1-BD2)}$ 的明度比率,并且其中所述指示提供与要使用的驱动电流有关的信息。

[0201] 另一方面,对于电流脉冲振幅的新值 I_{\min} ,最大明度将比初始值 I_{\max} 的情形低16倍。

[0202] 贯穿本说明书假定 I_{\min} 与 I_{\max} 的比率等于诸LED或OLED的明度的比率。然而,实践中情形并非如此。在本示例中,低电流和高电流的这一明度比率是1/16。归因于LED或OLED的效率(明度 \leftrightarrow 电流),电流比率($I_{\max}\leftrightarrow I_{\min}$)不具有1/16的比率。在所示示例中使用了约1/10的比率。

[0203] 在本发明的第一方面,所需明度范围是通过在LED或OLED必须达到较高明度范围时使用第一电流值 I_{\max} 作为电流脉冲的最大振幅以及在LED或OLED像素被用在较低明度范围中时使用第二、较低电流值 I_{\min} 作为电流脉冲的最大振幅,来用较少比特(例如,BD2而非BD1,诸如12比特代替16比特)达到的。

[0204] 代替必须发送与流过LED或OLED的平均电流有关的BD1(诸如16)个信息比特,BD2(诸如12)个比特可被用来对流过LED或OLED的电流的平均振幅进行编码(借助例如占空比),以及1比特用于编码 I_{\max} 或 I_{\min} 中的哪一者必须被用作电流脉冲的振幅。在LED或OLED用脉宽调制电流来驱动时,BD2(诸如12)个比特可例如被用来对占空比进行编码。

[0205] 例如,如果BD2加1比特(诸如第13比特)是逻辑1,则电流脉冲将具有振幅 I_{\max} ,如在图11A上解说的。在图11A的示例中,25%占空比对应于12比特序列MSB= $b_{11}=0, b_{10}=1, b_9=0, b_8=0, b_7=0, b_6=0, b_5=0, b_4=0, b_3=0, b_2=0, b_1=0, b_0=0=$ LSB(其中 b_{11} 是MSB且 b_0 是LSB)。

[0206] 如果第13比特是逻辑0,则电流脉冲将具有振幅 I_{\min} ,如在图11B上解说的。在图11B的示例中,25%占空比对应于12比特序列 $b_{11}=1, b_{10}=0, b_9=0, b_8=0, b_7=0, b_6=0, b_5=0, b_4=0, b_3=0, b_2=0, b_1=0, b_0=0$ (其中 b_{11} 是MSB且 b_0 是LSB)。

[0207] 在本发明的实施例中,根据本发明的这些实施例发送到LED或OLED显示器的数据仍然可以用BD1(即16)个比特(每色)来被编码和存储,但在被发送到LED或OLED电流驱动器之前被截短。

[0208] 图12示出根据本发明的实施例的所采取来截短BD1(例如,16)个比特的步骤。

[0209] 在本发明的实施例中,前S个最高有效位(诸如四个最高有效位)和/或L个最低有效位(诸如四个最低有效位)的值可指示对应的LED或OLED是否已被驱动以达到在最高或最低明度范围中的明度。

[0210] 比较器可被提供以比较BD1(诸如16)个比特的前S个或四个最高有效位(b_{15}, b_{14}, b_{13} 和 b_{12})。

[0211] 如果这S个或四个比特是零,则它们被截去。这留下BD2比特字,诸如12比特字 $[b_{11}-b_0]$ 。电流脉冲振幅比特 b_{cpa} (BD2加1比特或“第13”比特)被设置成零,从而指示电流脉冲的振幅是 I_{\min} ,这对应于最低明度范围。

[0212] 图13示出了初始BD2 (诸如16) 比特字和截短到BD2 (诸如12) 比特的结果以及在前S (诸如4) 个最高有效位b15、b14、b13和b12是0时电流脉冲振幅比特的状态。

[0213] 如果前S (诸如四) 个最高有效位中的任一者不同于零, 这指示LED或OLED要在较高明度范围中驱动, 则16比特字的L (诸如4) 个最低有效位 (b3、b2、b1和b0) 将被截去。这留下BD2 (诸如12) 比特字 [b15-b4]。电流脉冲振幅比特 b_{cpa} (BD2加1比特, 或“第13”比特) 被设置成1, 从而指示电流脉冲的振幅是 I_{Max} , 这对应于最高明度范围。

[0214] 图14示出了初始BD1 (诸如16) 比特字和截短到BD2 (诸如12) 比特的结果以及在前S (诸如4) 个最高有效位b15、b14、b13和b12中的至少一者为1时电流脉冲振幅比特的状态 (这由图12上的状态Y来表示)。

[0215] 在附图13和14上, 状态X意味着1或0, 并且指示截短是在独立于X状态中的那些比特的值的情况下完成的。

[0216] 低电流和高电流之间的切换可如下实现:

[0217] -在0-4095之间, 像素用低电流来驱动 (下表中的低光 (LL)),

[0218] -在4096-65535之间, 像素以12比特步进用高电流驱动 (下表中的高光 (HL))。

[0219] 所以, 如果接收到16比特值图像且比特15-12是零, 则选择较低的12个比特来用低电流显示。如果比特15-12不是零, 则前12个比特被选择来用高电流显示:

[0220] 表1:

低光															
b1	b1	b1	b1	<u>b1</u>	<u>b1</u>	<u>b</u>									
高光:															
<u>b1</u>	<u>b1</u>	<u>b1</u>	<u>b1</u>	<u>b1</u>	<u>b1</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	<u>b</u>	b4	b3	b2	b1	b0

[0222] 在高电流实现中, 采取16的明度步进 (归因于较高电流), 如在图16a上解说的。

[0223] 如果从较低电流到较高电流的步进变化不是由人眼可见的, 则将是优选的。例如, Barten曲线可被用来指示这一转变是否是可见的。如上所述, Barten曲线示出因变于全局明度的可见明度步进的阈值。该曲线下方的所有值不是人眼可见的。

[0224] Barten曲线 (对于方波图案和对于斜波图案) 在图16b上示出。它还示出针对16比特显示器和12比特的PQ曲线 (EOTF)。增加输出比特的数目 (从BD2增加到BD1, 或从12增加到16) 使得在增加输出比特的数目时曲线朝较低的最小可检测对比偏移。这一行为是预期的, 因为对于BD1 (诸如16) 比特编码而言, 与BD2 (诸如12) 比特编码相比, 显示器的最大亮度更多地除以2的幂, 并且因此造成针对BD1 (诸如16) 比特编码的最小亮度步进, 这与BD2 (诸如12) 比特编码相比较不可见。

[0225] 可以实现执行截短的不同方式, 并且每一方式被包括为本发明的实施例。

[0226] 从 I_{min} 切换到 I_{max} 可伴有视觉伪像。然而, 截短优选地被执行, 以使得从由 I_{min} 确定的最低明度范围到由 I_{max} 确定的最高明度范围的转变相对于人类视觉感知而言尽可能平滑。人类视觉感知模型可由Barten斜坡来表示, 或者如上所述, 可由gamma曲线来界定, 或甚

至更优选地由PQ曲线来界定。

[0227] 看起来,从一个参考电流振幅到另一者的转变的亮度将对伪像是否过大(即,过于能由人眼注意到而不可接受)具有确定性影响。的确,在电流脉冲的振幅从 I_{\min} 增加到 I_{\max} (对应于亮度 L_{\min} 和 L_{\max})时,一个LSB对应于 N (其中 $N=L_{\max}/L_{\min}$,或更一般而言,是 $2^{\wedge}(\text{BD1}-\text{BD2})$)倍高的亮度增加。

[0228] 循环流过LED或OLED的电流(在周期 T 上取平均)是 $\langle I \rangle = D/100 * I_{\text{pulse}}$,其中 I_{pulse} 是电流脉冲的振幅(即 I_{\min} 或 I_{\max})。

[0229] 如果占空比增加一个LSB,则循环流过LED或OLED的在周期 T 上取平均的电流的变化是 $\Delta \langle I \rangle = 1/M * I_{\text{pulse}}$,其中 M 是可以由所选择的比特数目来编码的占空比步进 ΔD 的数目。在使用12比特来编码占空比时, $\Delta \langle I \rangle = 1/4095 * I_{\text{pulse}}$ 。

[0230] 假定一开始LED或OLED用 $I_{\text{pulse}} = I_{\min}$ 来驱动,并且随后占空比 D 按一个LSB的步进从0增加到100%。电流将按步进 $\Delta \langle I \rangle = 1/4095 * I_{\min}$ 增加,直至占空比达到100%且 $\langle I \rangle = I_{\min}$ 。此后,为了进一步增加亮度,电流脉冲的振幅必须增加到 I_{\max} 。

[0231] 在 $N=16$ 的情况,并且仍然使用BD2(诸如12)比特来编码占空比 D ,在LED或OLED中具有相同亮度(在周期 T 上取平均)所需的占空比将被如下编码:MSB= $b_{11}=0$, $b_{10}=0$, $b_9=0$, $b_8=0$, $b_7=1$, $b_6=1$, $b_5=1$, $b_4=1$, $b_3=1$, $b_2=1$, $b_1=1$, $b_0=1=$ LSB。的确,这一编码表示数字 $b_{11} * 2048 + b_{10} * 1024 + b_9 * 512 + b_8 * 256 + b_7 * 128 + b_6 * 64 + b_5 * 32 + b_4 * 16 + b_3 * 8 + b_2 * 4 + b_1 * 2 + b_0 * 1 = 255$ 。这编码了占空比 $D = (255/4095) * 100\% \approx 1/16 * 100\%$ 。

[0232] 对于BD1=16,LED或OLED的平均亮度将是:

$$[0233] \quad \langle L \rangle = L_{\max} * 1/16$$

[0234] 电流脉冲的振幅 I_{\max} 具有比使用对应电流 I_{\min} 的 L_{\min} 高16倍的对应亮度 L_{\max} ,式(2)将写作下式:

$$[0235] \quad \langle L \rangle = L_{\max} * 1/16 = 16 * L_{\min} * 1/16 = L_{\min}$$

[0236] 此后,在 $I_{\text{pulse}} = I_{\max}$ 的情况下,电流(在周期 T 上取平均)按步进 $\Delta \langle I \rangle = 1/4095 * I_{\max}$ 增加,这是比 $I_{\text{pulse}} = I_{\min}$ 的情况高16倍的步进。

[0237] 因为亮度步进 $\Delta \langle L \rangle$ 变成因子 N (在本示例中是16)倍大,所以它可造成视觉伪像。视觉伪像的原点可以是空间或时间的。例如,LED或OLED中从一帧到另一帧且对应于一个LSB的电流增加可能过高而不兼容例如DICOM等标准。两个相邻LED或OLED之间的亮度差(LED或OLED的该亮度差对应于单个LSB)可能过高而不兼容例如DICOM等标准。

[0238] 因此选择 N 以使得亮度步进 $L = N/4095 * L_{\max}$ 将对应于最小可觉差(JND)是有利的。

[0239] 更一般而言,将寻求具有与 $N/(2^M-1) * L_{\min}$ 相对应的亮度中的最小可觉步进,其中 M 是用来编码占空比的比特数(或更一般而言, 2^M-1 是(最小值(例如,0%)与最大值(例如,100%)之间的)占空比步进的数目,并且因此是亮度的步进数目)。

[0240] 如上所述,存在不同类型的曲线来建模或表示因变于亮度的对比敏感度。根据这些模型,查找表可被导出,以改进计算时间,即降低它。例如,Barten模型(其将因变于屏幕亮度、视野、图像的空间频率,等等的对比敏感度的依存性纳入考虑)。Barten模型被广泛使用,且被许多电子成像研究和标准所引用。根据这一模型,PQ曲线已被设计来提供对人类视觉响应曲线的更接近拟合,如在公布“Perceptual Signal Coding for More Efficient Usage of Bit Codes(用于比特码的更高效使用的感知信号编码)”,SMPTE会议演示,2012,

Scott Miller, Mahdi Newamabadi, Scott Daly 中解释的。

[0241] 图15示出了感知量化曲线(表示因变于亮度的对比敏感度)。

[0242] 曲线150示出了在使用具有16比特位深的线性电流驱动器来驱动LED或OLED显示器的LED或OLED时获得的因变于亮度的对比变化。

[0243] 曲线151a示出了在使用具有12比特位深的相同线性电流驱动器以及用于脉宽调制的电流脉冲的相同振幅来驱动LED或OLED显示器的LED或OLED时获得的因变于亮度的对比变化。

[0244] 曲线151b示出了根据本发明的通过截短16比特编码获得的十二比特位深的对比变化(即,在对于电流脉冲的第一振幅 I_{Min} 的4个MSB是零时使用12个LSB,并且在对于电流脉冲的第二振幅 I_{Max} 的4个MSB中的至少一者不是零时使用12个MSB)。

[0245] 只要使用电流脉冲的第一振幅 I_{Min} ,曲线151b就遵循曲线150。此后,在针对电流脉冲使用第二振幅 I_{Max} 时,曲线 $\Delta L/L$ 在151b的结尾处停止并开始遵循曲线151a。

[0246] 曲线150、151a和151b示出了对比如如何因变于L变化 $\Delta L/L$,其中L是显示器上的(平均)亮度。

[0247] 电流是使用例如12比特来编码的。在比特码按1LSB增加时,亮度按 ΔL 增加且曲线150、151a和151b可被逐点构建。在低亮度, $\Delta L/L$ 比在高亮度处变化得更快。

[0248] 与图16b相比,12比特(或BD2)HL和LL也在深灰中示出,叠加到16比特PQ曲线(150)和12比特PQ曲线的第二部分(151b,从 $156\text{cd}/\text{m}^2$ 开始)。图15示出了对于 $I_{\text{cpa}} = I_{\text{min}}$ (曲线151a)和 $I_{\text{cpa}} = I_{\text{max}}$ (曲线151b)使用BD1(诸如12)比特编码的对比敏感度的演化,其中 I_{cpa} 是用于脉宽调制的电流脉冲的振幅。在这一示例中,早先已描述了BD2比特(诸如12比特)编码,即12比特被用来对流过LED或OLED的脉宽调制电流的占空比进行编码。

[0249] 图15还示出了Barten曲线(曲线152对应于方波图案,而曲线153对应于斜波图案)。

[0250] 所以在低光中,16比特PQ曲线被完全遵循(由曲线151a)然而在特定时刻处,存在到HL驱动的跳跃(在 $156\text{cd}/\text{m}^2$ 处)。在电流脉冲的振幅(I_{min} 和 I_{max})根据本发明被选择时,这一曲线仍然在Barten下方,并且因而该转变将不是可见的(或不被注意到)。

[0251] 用圆圈示出的区域154对应于转变区,在 $156\text{cd}/\text{m}^2$ 处从 I_{min} 到 I_{max} 。

[0252] 每一电流步进(对应于LSB)伴有对比敏感度的步进($\Delta L/L$,其中 ΔL 是与流过LED或OLED的电流的增加相对应的亮度增加,且L是与平均电流 $\langle I \rangle$ 相对应的亮度)。

[0253] 在Barten曲线下方的亮度步进不是可察觉的。具体而言,区域154中的亮度变化(其中电流脉冲的振幅从 I_{min} 变化到 I_{max})不是可见的。

[0254] 即使与一个LSB相对应的亮度步进按因子N增加(例如, $N=16$),如果该转变发生在Barten曲线下,则对应的亮度增加 ΔL 也将不是可察觉的。

[0255] 在图15中,从 I_{Min} 到 I_{Max} 的跳跃是在 $\pm 156\text{cd}/\text{m}^2$ 的亮度处完成的。

[0256] 在图23的示例中,通过使用第一电流值 I_{min} 来用于电流DAC(参考图17A和18A),所编码的前8比特被转换成电流。代替针对 I_{min} 使用最后4比特,比特3、比特2和比特1被设置成零,而比特0是使用对应于 $L_{\text{max}} = N * L_{\text{min}}$ ($N=$ 例如在该示例中16)的电流 I_{max} 来实现的。由LED或OLED生成的总亮度与如同所有比特被设置成1一样相同。

[0257] 现在将描述可实现从用于LED或OLED显示器的PWM驱动系统的第一电流振幅到第

二电流振幅的更渐进转变的DAC的实施例。图17A示出了可实现本发明的电路的示例。在本发明的这一或任何其他实施例中,可使用低通滤波器。然而,记住明度与亮度相同,但是由人眼感知的,人眼充当对光脉冲序列取平均的低通滤波器。所以对于PWM驱动脉冲,一个PWM周期期间的明度或平均亮度可由眼睛LPF(低通滤波器)来过滤。

[0258] 对LED或OLED180中的所需电流进行编码的比特序列被馈送到信号发生器171。信号发生器171生成因变于该比特序列的第一信号172A。第一信号172A确定开关175或176中的哪一者被闭合或打开。在闭合时,第一开关175将第一电流源173连接到节点178。在闭合时,第二开关176将第二电流源174连接到节点178。信号172A可例如驱动第一开关175。第二开关176可由使用信号172A作为输入的逻辑倒相器177的输出来驱动。信号发生器171还生成控制第三开关179的第二信号172B。第二信号172B被用来根据PWM方案来调制LED或OLED 180中的电流。在闭合时,第三开关179将LED或OLED 180与开关175和176相连接。在第三开关179打开时,LED或OLED 180中的电流是零。在第三开关179闭合时,LED或OLED 180中的电流等于由第一电流源173在第一开关175闭合且第二开关176打开时生成的电流 I_{\min} 。在第三开关179闭合时,LED或OLED 180中的电流等于由第二电流源174在第一开关175打开且第二开关176闭合时生成的电流 I_{\max} 。LED或OLED 180的阳极连接到第三开关179,且LED或OLED 180的阴极连接到电势 V_k 处的阴极节点182。信号发生器可例如实现在FPGA或ASIC上。

[0259] 第二信号172B可以按不同方式来生成。在一个特定示例中,例如,经截短比特序列的LSB可对应于历时 T_{LSB} ,此 T_{LSB} 等于例如帧率除以 (2^n-1) ,其中 n 是经截短比特序列的比特数。如果经截短比特序列的比特 B_0 (LSB)是1,则信号发生器将第二信号172B设置成“高”,以在等于 T_{LSB} 的时间期间闭合第三开关179并允许电流流过LED或OLED 180。如果第二比特 B_1 是0,则信号发生器将第二信号172B设置成“低”,以在等于 $2*T_{\text{LSB}}$ 的时间期间打开第三开关179并阻止电流流过LED或OLED 180。如果第三比特 B_2 是1,则信号发生器将第二信号172B设置成“高”,以在等于 $4*T_{\text{LSB}}$ 的时间期间闭合第三开关179并允许电流流过LED或OLED 180。对于第 n 比特 B_n ,第二信号172B因变于 B_n 被设置成H或L期间的的时间区间等于 $2^{(n-1)}*T_{\text{LSB}}$ 。所有时间区间的总和等于PWM周期 T 。这在图18A上示出。

[0260] 在PWM信号被如上所述地生成时,甚至可能针对经截短比特序列的任何比特 B_i 改变第一信号172A的状态(并且因此改变PWM信号的振幅)。这在图19A上示出,其中电流的振幅在与LSB B_0 相对应的的时间区间 T_{LSB} 期间是 I_{\max} ,且电流的振幅在与第三比特 B_2 相对应的的时间区间 $4*T_{\text{LSB}}$ 期间是 I_{\min} 。

[0261] 现在解说显示器设计者将如何确定图17A上解说的电路的 I_{\min} 和 I_{\max} 的振幅。

[0262] 假定显示器必须具有最大亮度 2500cd m^{-2} 。图像数据是每帧每像素(每色)16比特。出于早先讨论的原因,所选位深是12比特。

[0263] 基于工业诀窍,LED或OLED特性(例如,因变于LED或OLED中的正向电流的光功率)和/或电流仿真器(在其最简形式中,可以是查找表,其中给出因变于电流的 L 的测量值),达到所需 L_{\max} 的正向电流 I_{\max} 可被确定。这针对每一色彩完成,即确定红色LED的 $I_{\max\text{Red}}$ 、绿色LED的 $I_{\max\text{Green}}$ 以及蓝色LED的 $I_{\max\text{Blue}}$ 。为简明起见,将忽略差别。一旦这是已知的,可针对从零到 L_{\max} 变化的 L 来计算曲线 $\Delta L/L$ 。 L 可针对每一电流步进来计算(每一电流步进对应于等于 T_{LSB} 的占空比增加), ΔL 可相应地被计算。这在表2中解说。

[0264] 对于表2中的数据,表示因变于 L 的 $\Delta L/L$ 的曲线250可被跟踪,如在图25上解说的。

图25上还示出了PQ曲线251(斜波的Barten曲线)和252(方波的Barten曲线)。

[0265] 图28示出了图25的曲线250的近摄图。因为非线性且因为电流(并且因此亮度)是步进地增加的(每次一个LSB),所以存在非连续性。与外观相反,函数 $\Delta L/L$ 不是多值的。在图28中,在查看与每次占空比的单个LSB增加相对应的从点A32到点B32、从点B32到点C32、……的跳跃时,这变得明显。

[0266] 选择曲线250低于Barten曲线的L值的曲线。设计者或显示器仍然具有某些自由来选择低于Barten曲线的亮度。取决于性能要求,可以选择如下亮度,使得曲线 $\Delta L/L$ 在曲线251和曲线252之间或低于曲线252。在这一情形中,例如,L的值可被选择成使得 $\Delta L/L$ 低于aArten曲线 $L_{Tr}=107\text{cd m}^{-2}$ 。如针对 L_{max} 完成的一样,显示器设计者可以确定达到亮度 $L_{Tr}=107\text{cd m}^{-2}$ 所需的正向电流 L_{Tr} 。

[0267] 知悉这一点,曲线 $\Delta L/L$ 可如先前完成的那样被跟踪。这在表3中解说。 L' 将仅被用于亮度,以避免表2和表3之间的混淆。

[0268] 图26示出了在电流脉冲的振幅是 I_{Tr} (曲线260)和 I_{Max} (曲线250)的情况下所获得的曲线 $\Delta L/L$ 。

[0269] 图26示出了可视化了在占空比增加时以及电流脉冲的振幅从 I_{Tr} 增加到 I_{Max} 时所发生的事物。

[0270] 从A点开始,PWM信号的占空比增加(每次一个LSB)。亮度L增加且比率 $\Delta L/L$ 降低。在B点周围(即, $L=L_{Tr}$ 的附近),比率 $\Delta L/L$ 被约束在Barten曲线252下方。一旦LED或OLED中的平均电流达到 I_{Tr} ,在曲线260上,亮度就不再增加。曲线260对应于“低光”或LL模式,且电流 I_{Tr} 对应于先前描述的电流 I_{Min} 。如果需要进一步增加亮度,则可使用具有振幅 I_{Max} (代替 I_{Min})的脉冲来开始。

[0271] 占空比D被设成值 D_0 ,使得 $D \cdot I_{Max}$ 尽可能接近(理想地等于) I_{Min} 。现在这在曲线250上,在Barten曲线251下方,这意味着在(电流脉冲的振幅)从 I_{Min} 到 I_{Max} 的转变期间由正向电流的轻微变化所造成的任何亮度变化不是可察觉的。比率 $\Delta L/L$ 从曲线260上的B点跳转到曲线250上的C点。

[0272] 在占空比从 D_0 进一步增加到1时,比率 $\Delta L/L$ 沿曲线250从C点变化到D点。因为占空比 D_0 不同于零,所以这意味着比特组合中的一些未被使用。

[0273] 图27示出了类似曲线。在该情形中,需求是 $L_{Max}=1000\text{cd m}^{-2}$ 。

[0274] 在该示例中, $L_{Tr} \approx 43\text{cd m}^{-2}$ 。

[0275] 在图23的示例中,通过使用第一电流值 I_{min} 来用于电流DAC(参考图17B和18B),所编码的前8比特被转换成电流。代替与 I_{min} 一起使用最后4比特,比特3、比特2和比特1被设置成零,而比特0实现成电流 $I_{max}=16 \cdot I_{min}$ 。DAC所生成的总电流与如同所有比特被设置成1一样相同。

[0276] 现在将描述可任选地实现从用于LED或OLED显示器的PWM驱动系统的第一电流振幅到第二电流振幅的更渐进转变的DAC的又一实施例。在本发明的任何实施例中,可使用低通滤波器。然而,记住明度与亮度相同,但是由人眼感知的,人眼充当对光脉冲序列取平均的低通滤波器。所以对于PWM驱动脉冲,一个PWM周期期间的明度或平均亮度可由眼睛LPF(低通滤波器)来过滤。图17B示出了电流源170。这一电路可例如实现在FPGA或ASIC上。电流源170的输出电流 I_{out} 是输入信号171的函数。输入信号171例如是二进制信号(也称为 b_s “比

特选择”)。图17B中所示的实施例示出了利用双电流源的实施例。图17B的实施例可如在图18B中一样使用来示出如何作出可被用来驱动LED或OLED的“规则”(即,非PWM)电流DAC。然而,它可向PWM电流驱动单元提供电流。在实践中,PWM驱动的像素是现有技术已知的且PWM开关可被提供在电流源和LED或OLED之间,参见例如US20170025064的图5,其通过援引纳入于此。

[0277] 输出电流在 b_S 为高(H)的情况下是 $I_{out} = I_{Ref1}$,或在 b_S 为低(L)的情况下是 $I_{out} = I_{Ref2}$ 。电流源170的输出电流由通过信号 b_S 所闭合的开关175或176中的那一者来确定。在图17B的示例中,信号 b_S 驱动开关175,且信号非 b_S (NOT b_S ,通过借助倒相器177对信号 b_S 倒相来获得)驱动开关176。例如,如果信号 b_S 为高,开关175闭合而开关176打开,并且第一电流源173连接到电流源170的输出端172。如果信号 b_S 为低,开关175打开而开关176闭合,并且第二电流源174连接到电流源170的输出端172。

[0278] 具体而言, $I_{Ref2} = N * I_{Ref1}$ 。

[0279] 像电流源170的若干电流源170A、170B、170C等……可并联使用以形成DAC电流。

[0280] 在图18B的示例中,12个电流源1801、1802、……、1812被使用来形成12比特电流DAC。12个电流源的输出通过开关1821到1832的网络180连接到共用节点182,在此电流将被相加。开关1821到1832由对例如流过连接到共用节点182的LED或OLED的电流的振幅进行编码的12比特(B_1 、 B_2 、……)控制。

[0281] 参考电流 I_{Ref1} 和 I_{Ref2} 从一个电流源如下变化到另一电流源。

[0282] 对于电流源1801,例如存在 $I_{Ref2\ 1801} = N * I_{Ref1\ 1801} = 1/2 I_{max}$ 。

[0283] 对于电流源1802: $I_{Ref2\ 1802} = N * I_{Ref1\ 1802} = 1/2 I_{Ref2\ 1801} = 1/4 I_{max}$ 。

[0284] 对于电流源1803: $I_{Ref2\ 1803} = N * I_{Ref1\ 1803} = 1/2 I_{Ref2\ 1802} = 1/8 I_{max}$ 等等,……

[0285] 对于电流源1812: $I_{Ref2\ 1812} = N * I_{Ref1\ 1812} = 1/2 I_{Ref2\ 1811} = 1/2^{12} I_{max}$ 。

[0286] 在图18B的示例中,每一电流源的输入信号连接到信号输入比特181(它因此是可被用在本发明的实施例的第一示例中的电流DAC的示例)。

[0287] 在图19B中,输入信号或控制比特可针对每一电流源1801、1802等……被独立地设置成高或低。

[0288] 具体而言,控制比特可由控制块1901因变于发送到电流DAC的比特码 $B[12:1]$ 来确定。比特码 $B[12:1]$ 被用来既控制开关网络1833的开关1821、1822、……、1832的状态,又确定电流源1801、1802、……、1812中的每一者的选择比特 b_S 的状态。

[0289] 例如,控制块1901允许从低电流模式到高电流模式的较少突变。例如,在图19B上例示的电流DAC允许合成与图16相对应的电流。

[0290] 启用低电流模式到高电流模式的较少突变的电路的另一示例在图20上给出。(二进制)降值计数器200被用例如对占空比进行编码的12比特码来预加载。这一12比特码 $B[12:1]$ 可包括指示符比特。在PWM周期的开始,计数器在每一时钟周期处递减。只要计数器不是零,输出信号是例如开启(ON)或高(High)。输出信号是 $OUT[12:1]$ 。只要计数器达到零,输出是关闭(OFF)或低(Low)并且保持,直至PWM周期的结束。输出信号激活将电流源例如1800的输出连接到LED或OLED的开关。

[0291] 同时,比较器201将降值计数器200($OUT[12:1]$)的输出与预定二进制值相比较,并改变电流源1800的选择比特 b_S 的状态。

[0292] 生成如下PWM信号因此是可能的：电流脉冲的振幅将在占空比的一部分期间具有第一值，在占空比的另一部分期间具有第二值。此类信号在图21上解说。

[0293] 代替比较器201，降值计数器200的输出可被馈送到逻辑查找表。这一生成允许合成如在图22上的PWM信号。

[0294] 本发明的任何实施例可被用于OLED显示器或LED显示器。在本发明的任何实施例中，可使用低通滤波器。然而，记住明度与亮度相同，但是由人眼感知的，人眼充当对光脉冲序列取平均的低通滤波器。所以对于PWM驱动脉冲，一个PWM周期期间的明度或平均亮度可由眼睛LPF（低通滤波器）来过滤。

[0295] 尽管以上已经参考特定实施例描述了本发明，但是这样做是为了阐明而不是限制本发明。技术人员将理解，在不脱离本发明的范围的情况下，可以对所公开的特征进行各种修改和不同的组合。

[0296] 表2和3

[0297] 表2

表 2 比特码 (b0b1b2...b11)	占空比	正向电流 I	L	ΔL
100000000000	$1/(2^{12}-1)$	$I_{Max} / (2^{12}-1)$	L_1	
010000000000	$2/(2^{12}-1)$	$2 * I_{Max} / (2^{12}-1)$	L_2	$L_2 - L_1$
...
011111111111	L_{4094}	$L_{4094} - L_{4093}$
111111111111	1	I_{Max}	L_{Max}	$L_{Max} - L_{4094}$

[0299] 表3

表 3 比特码 (b0b1b2...b11)	占空比	正向电流 I	L	ΔL
100000000000	$1/(2^{12}-1)$	$I_{Tr} / (2^{12}-1)$	L'_1	
010000000000	$2/(2^{12}-1)$	$2 * I_{Tr} / (2^{12}-1)$	L'_2	$L'_2 - L'_1$
...
011111111111	L'_{4094}	$L'_{4094} - L'_{4093}$
111111111111	1	I_{Tr}	L_{Tr}	$L_{Tr} - L'_{4094}$

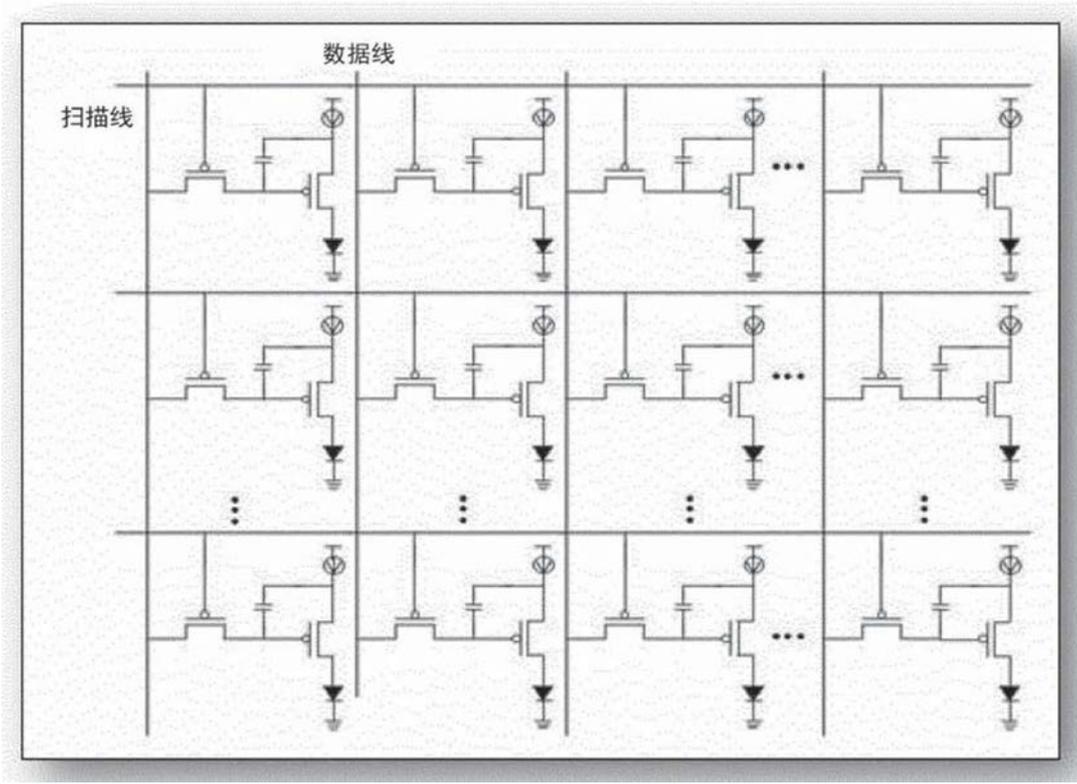


图1

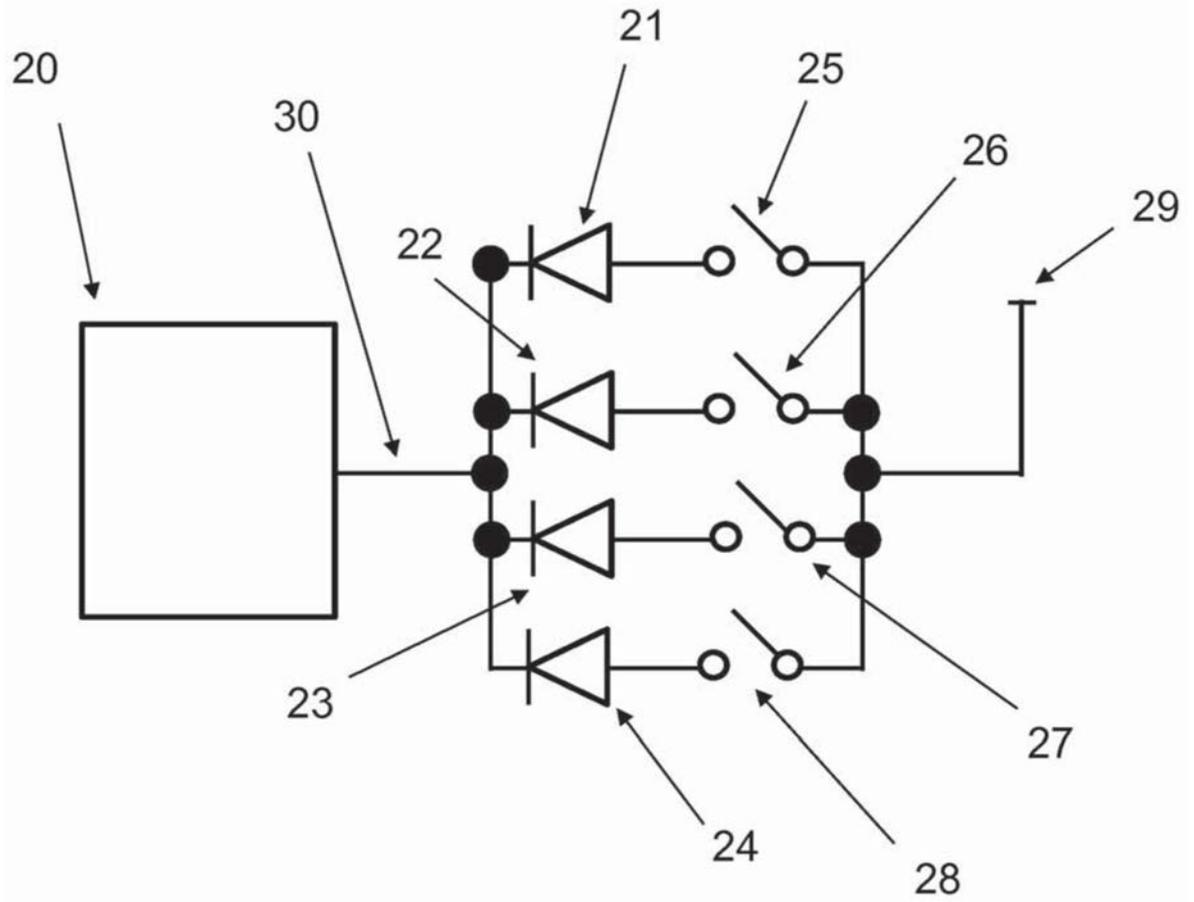


图2

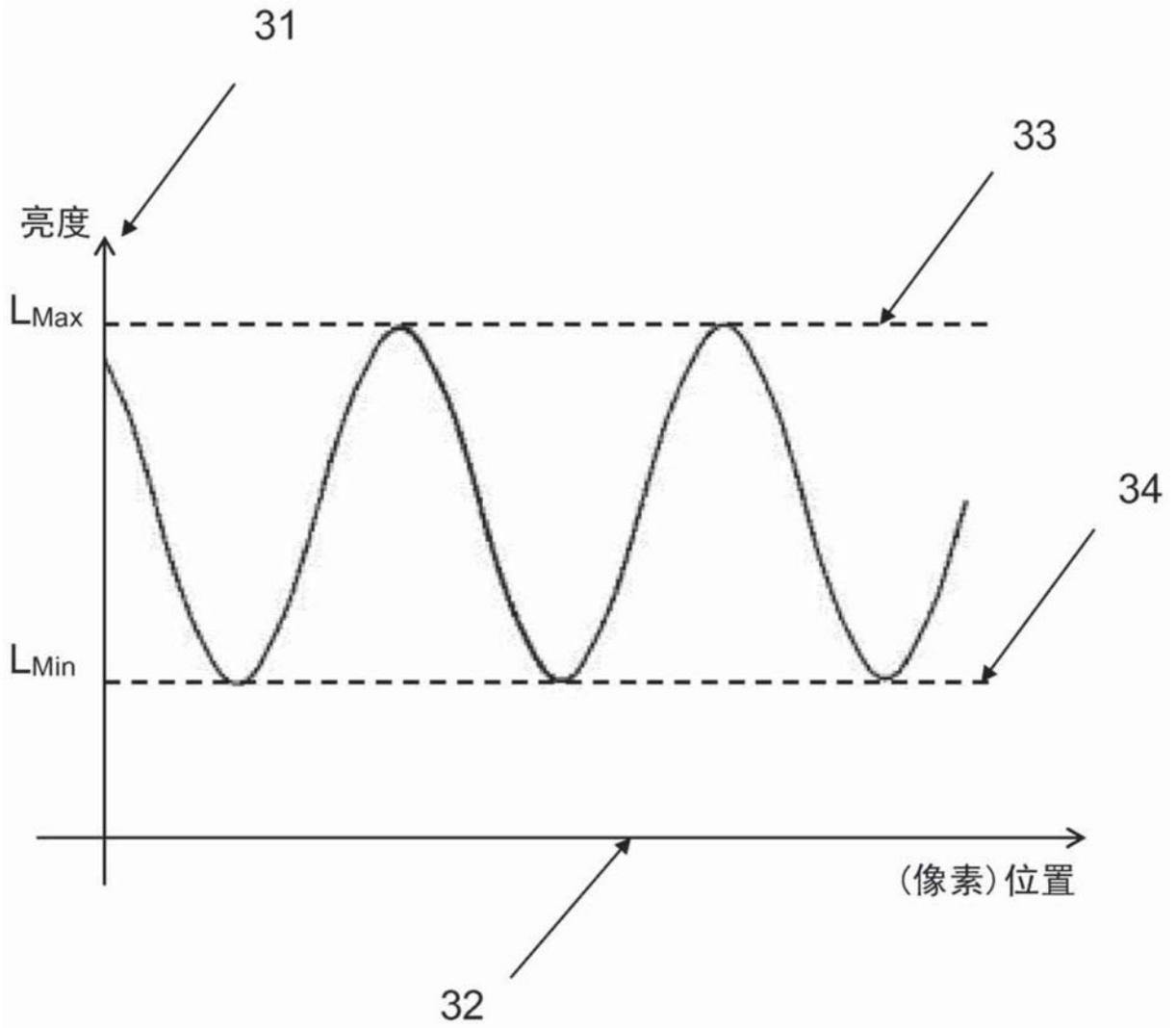


图3

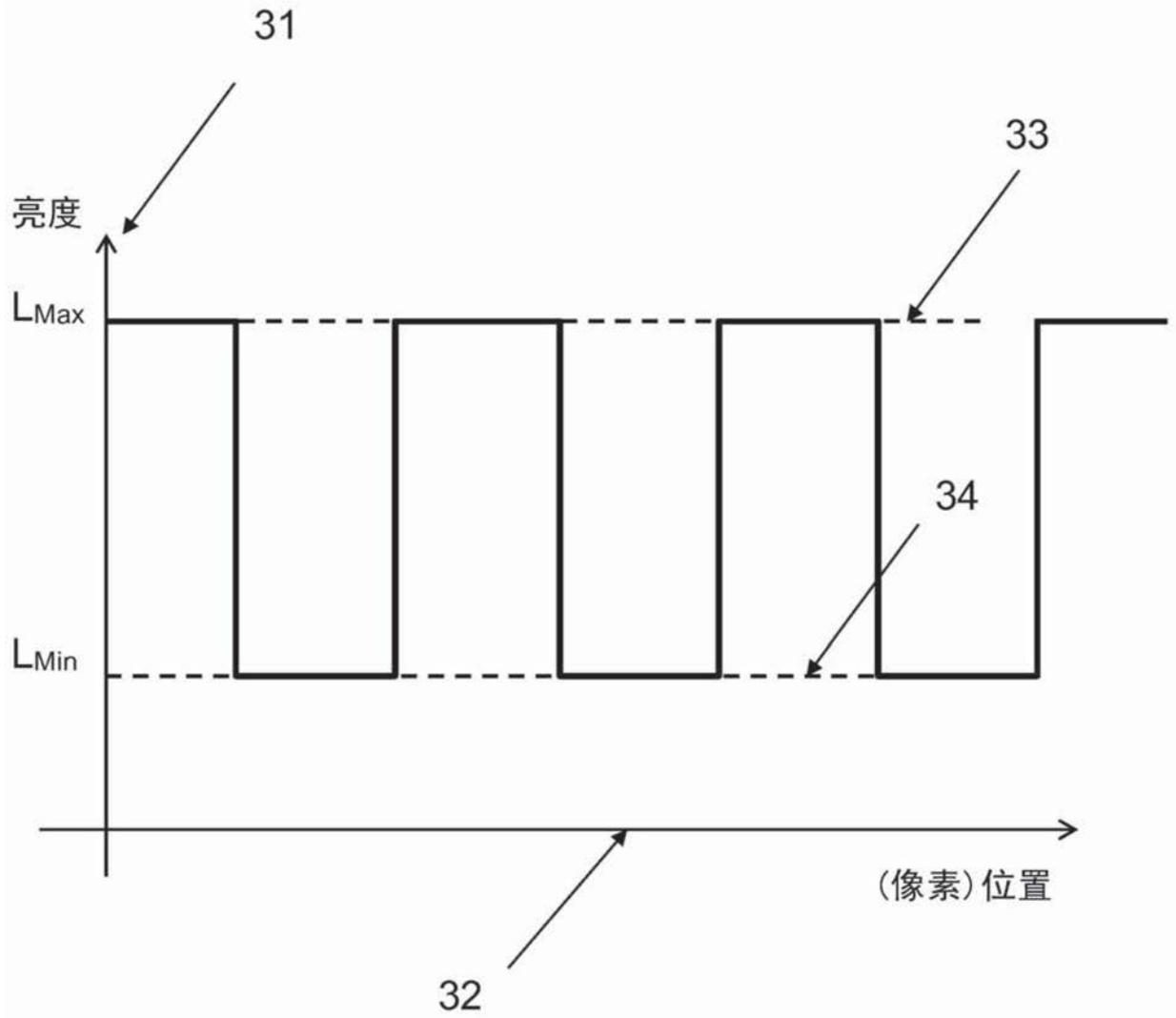


图4

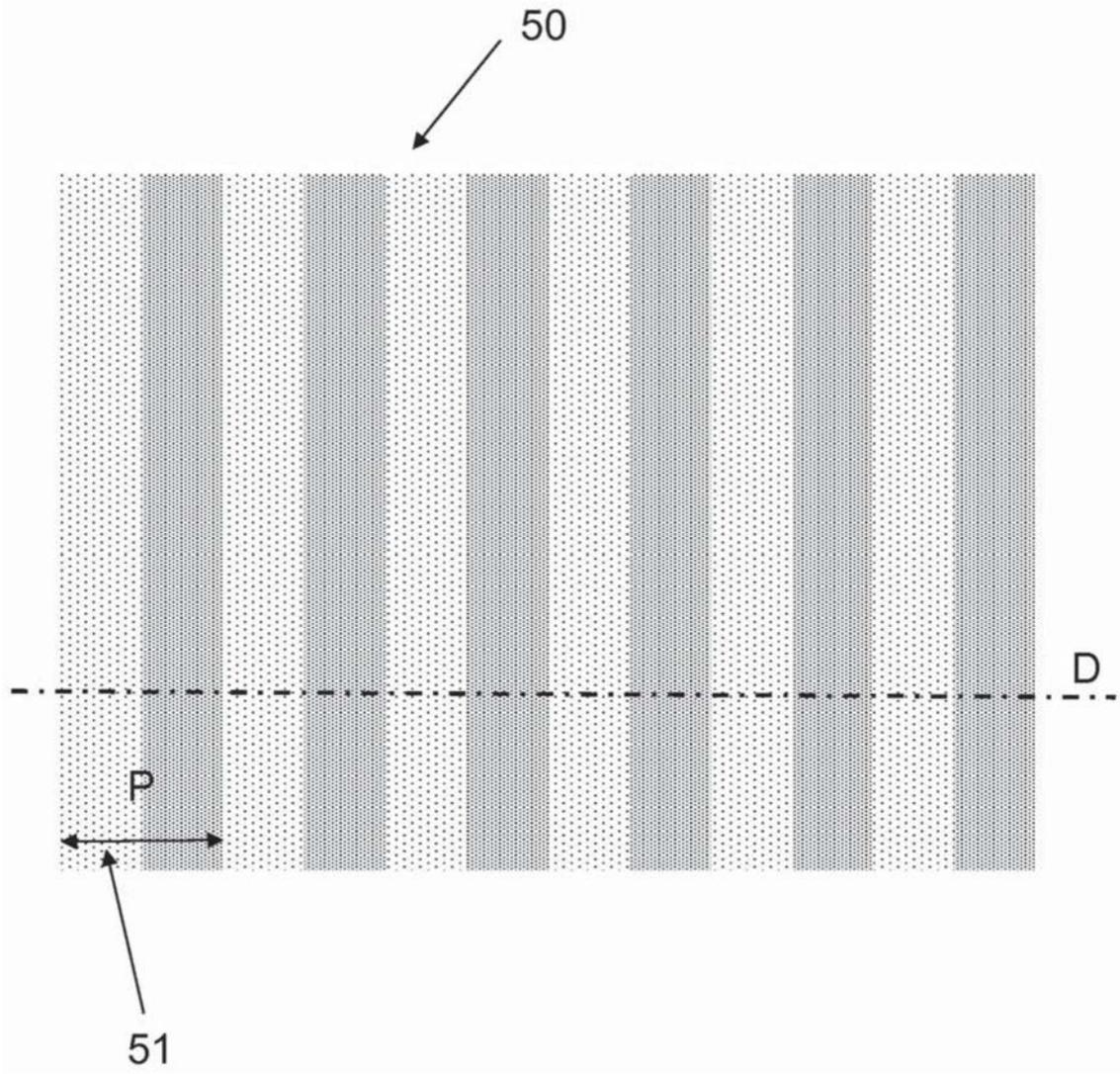


图5

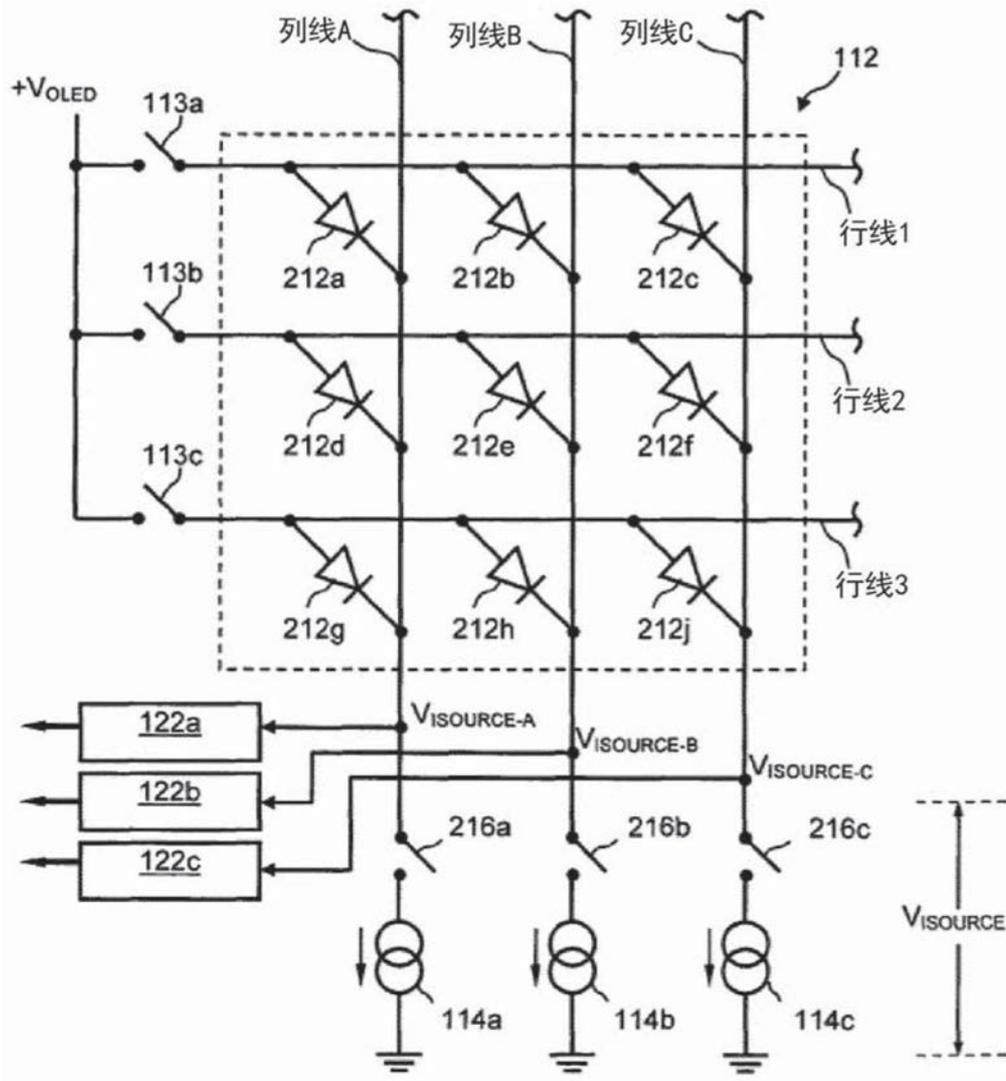


图6

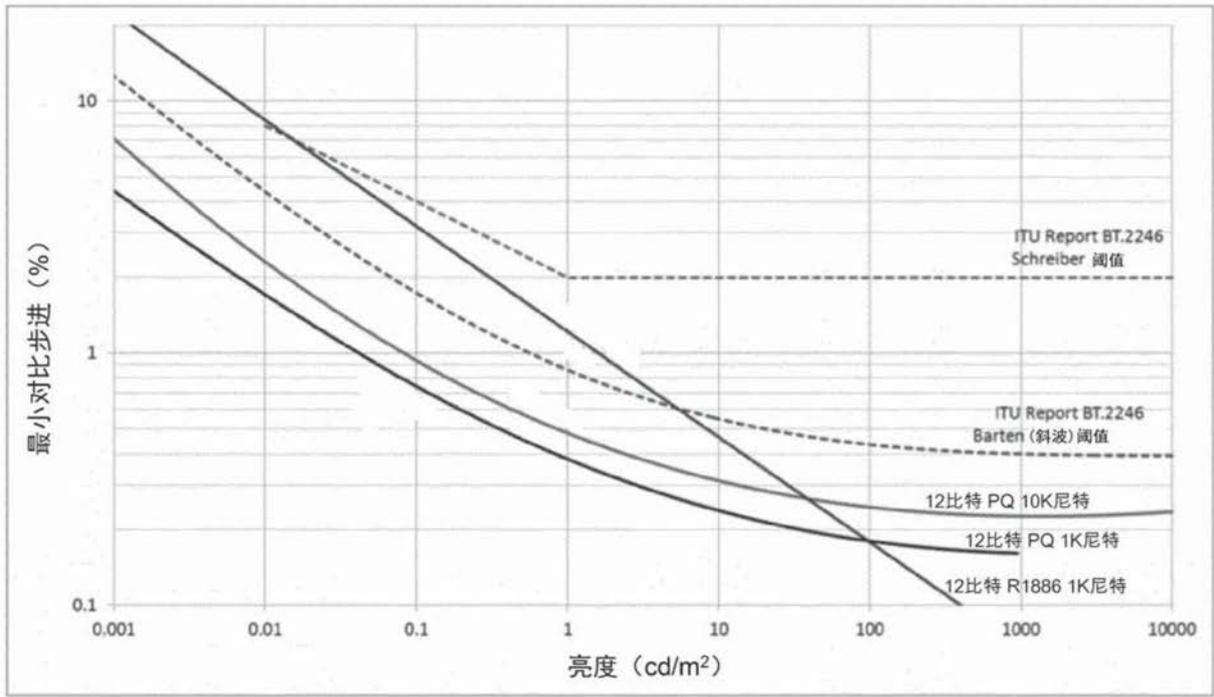


图7

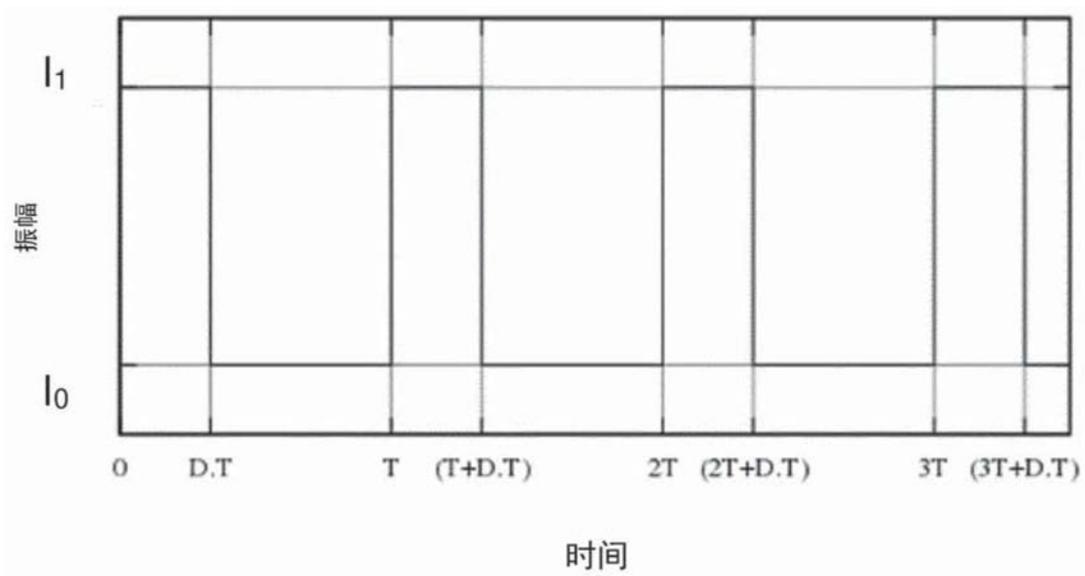


图8

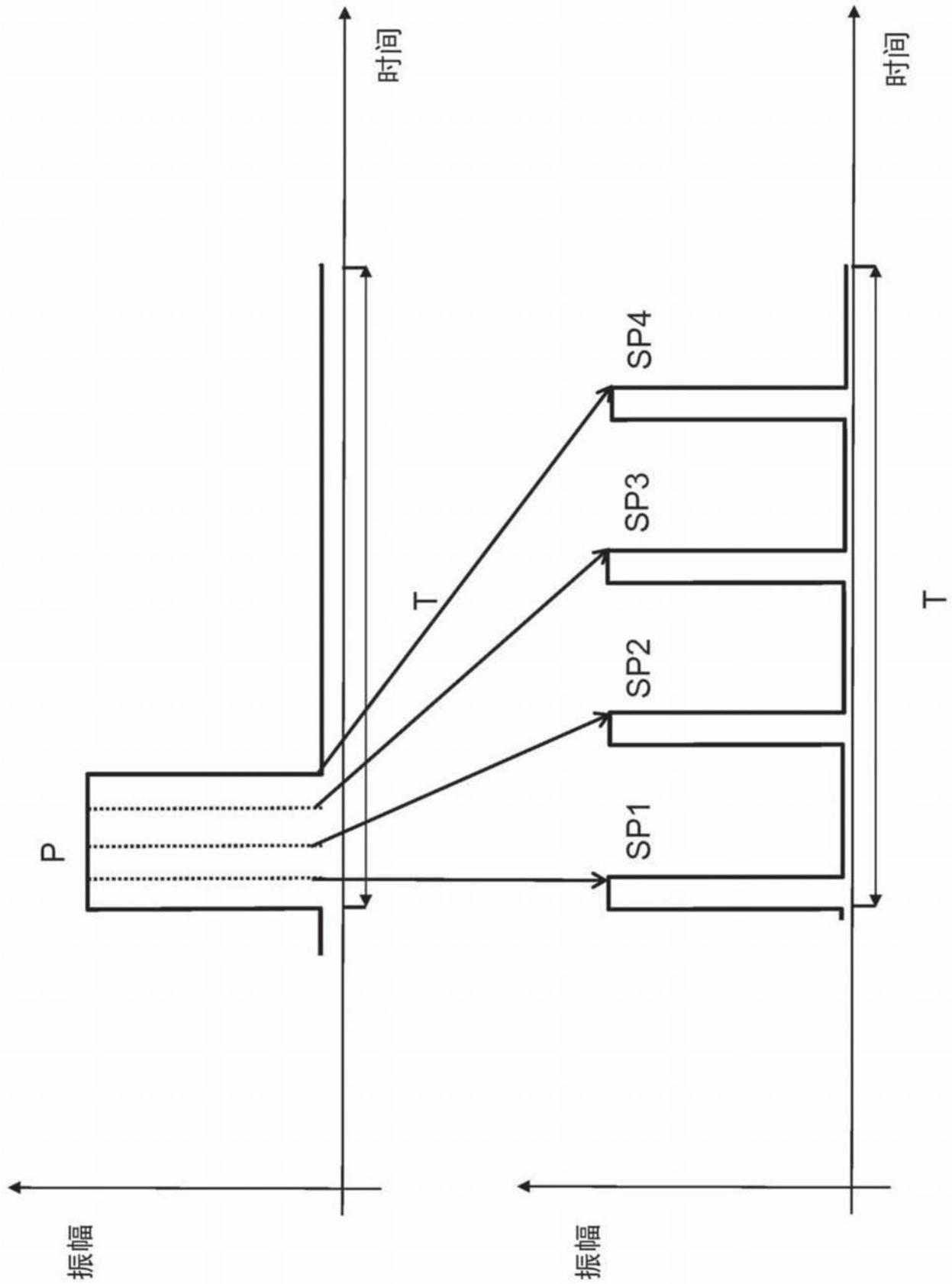


图9

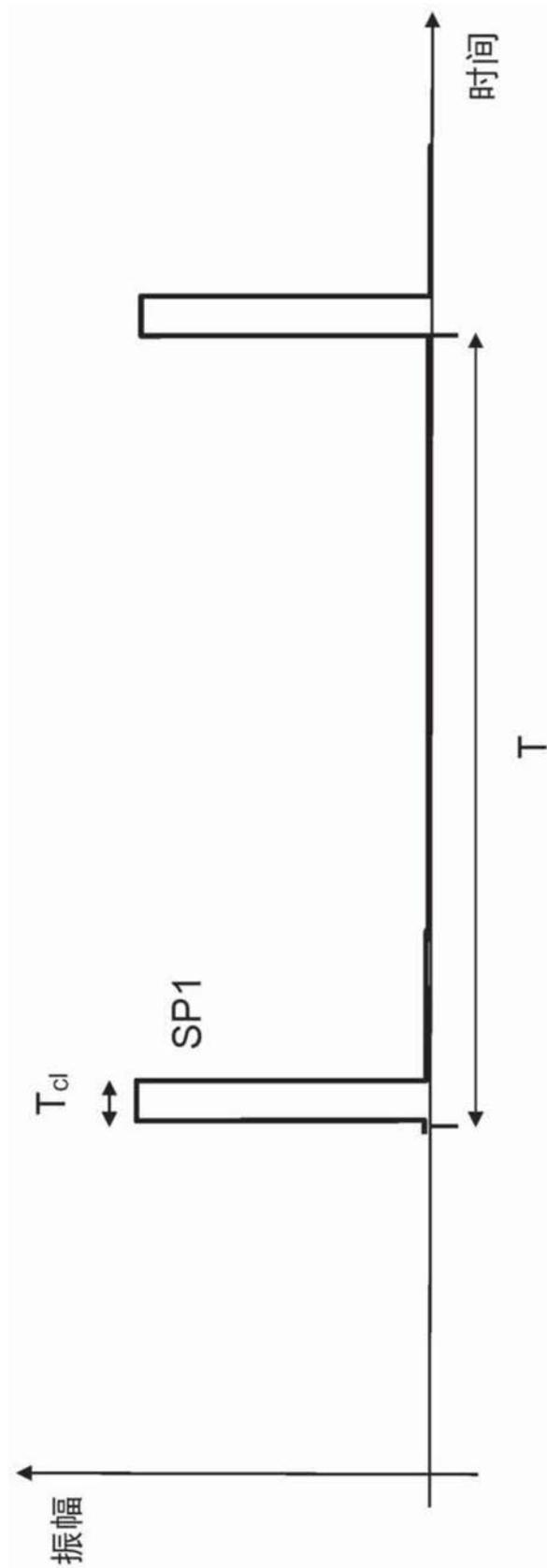


图10A

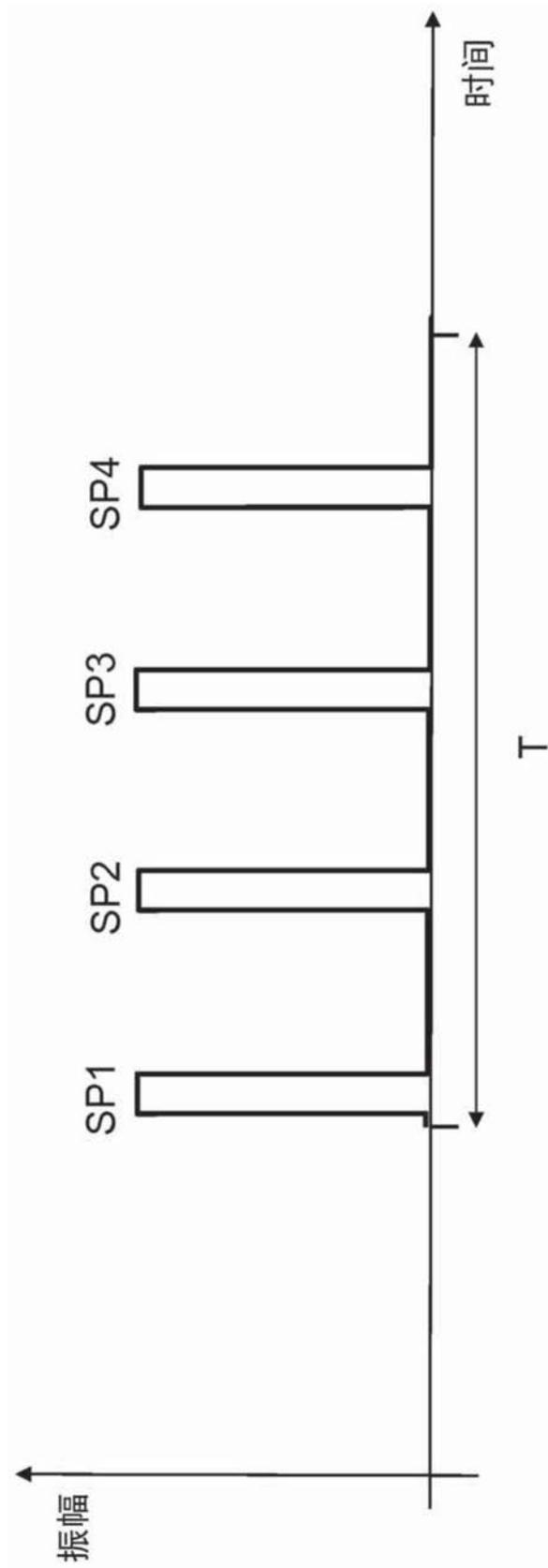


图10B

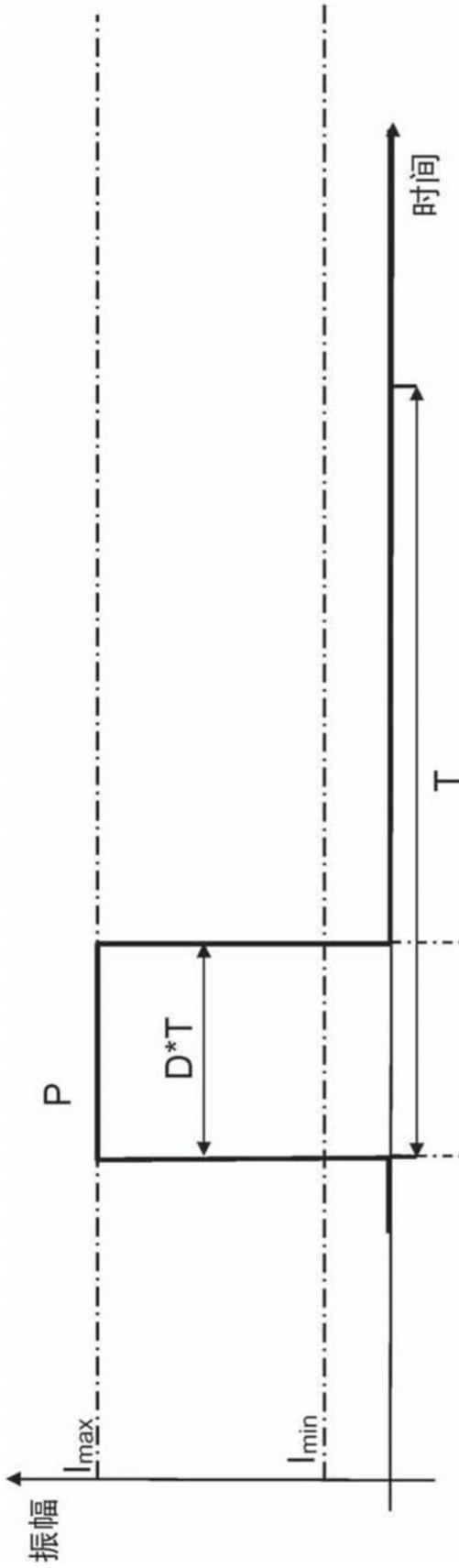


图 11A

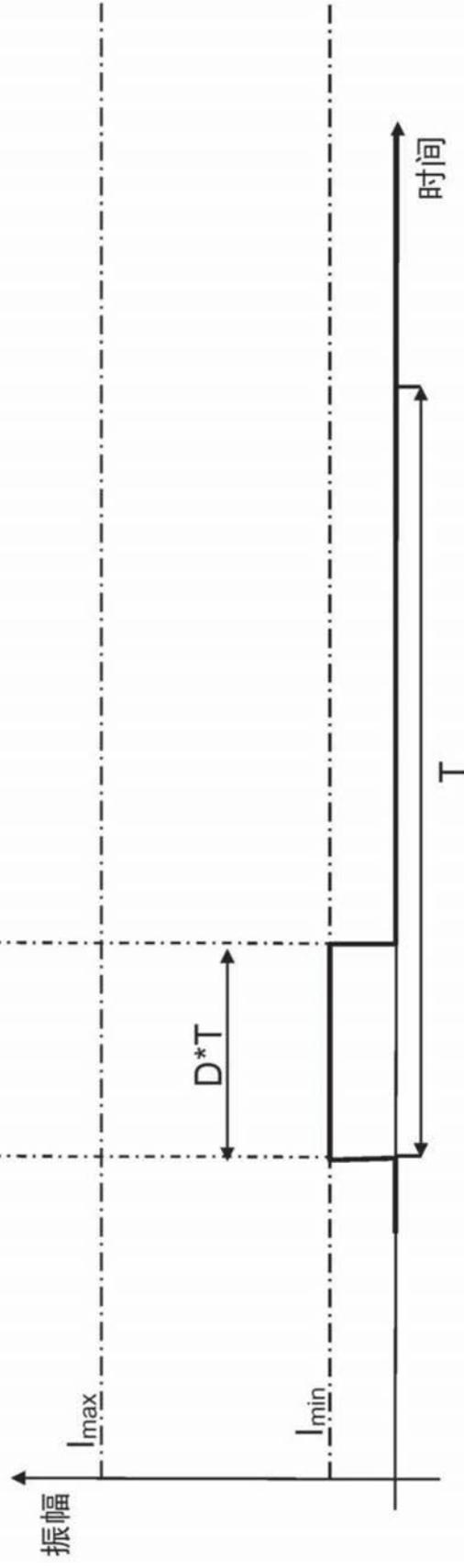


图 11B

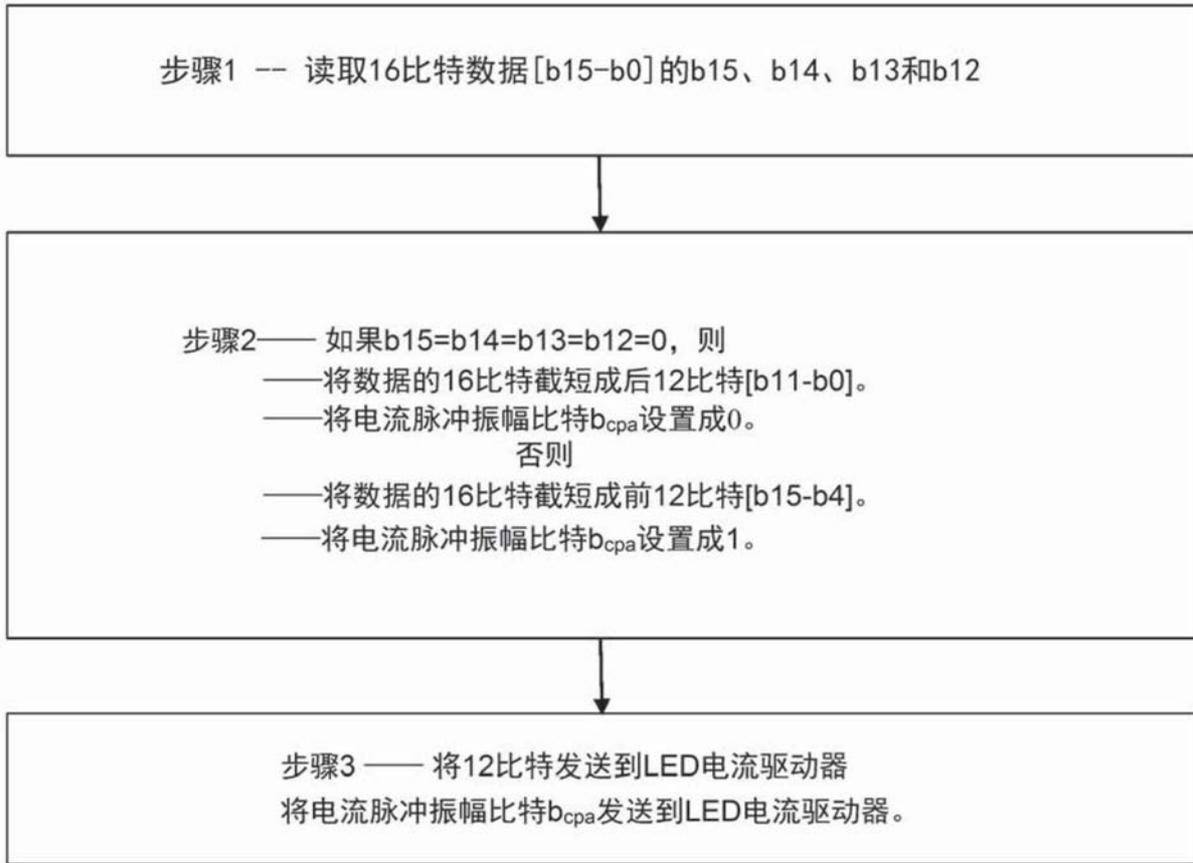


图12

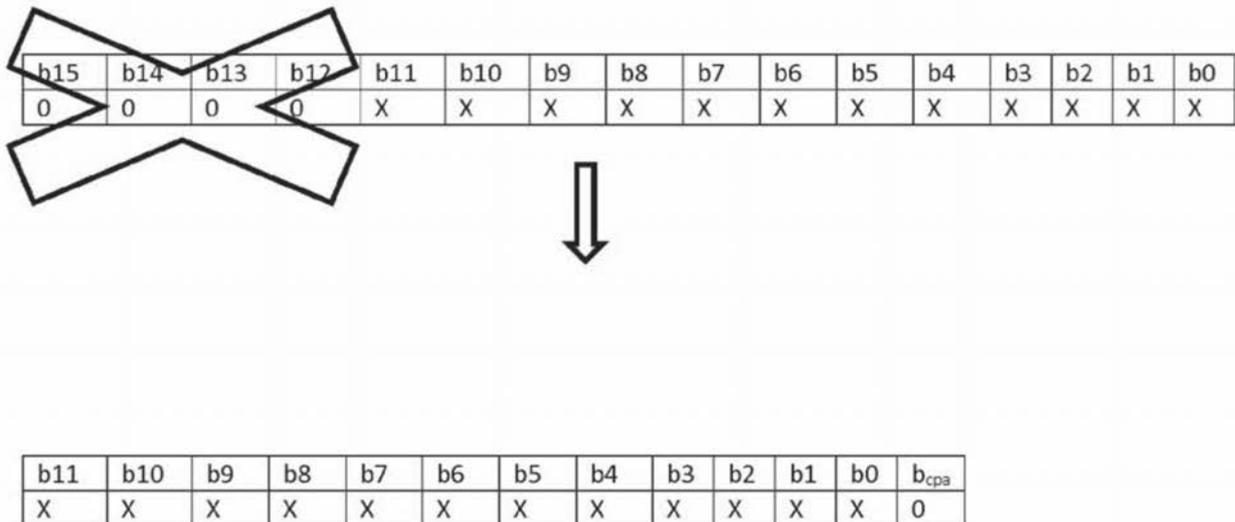


图13

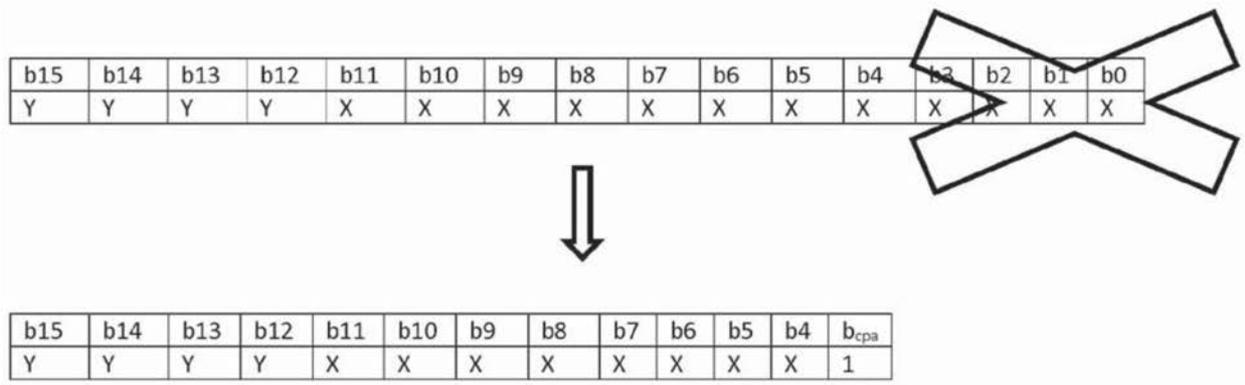


图14

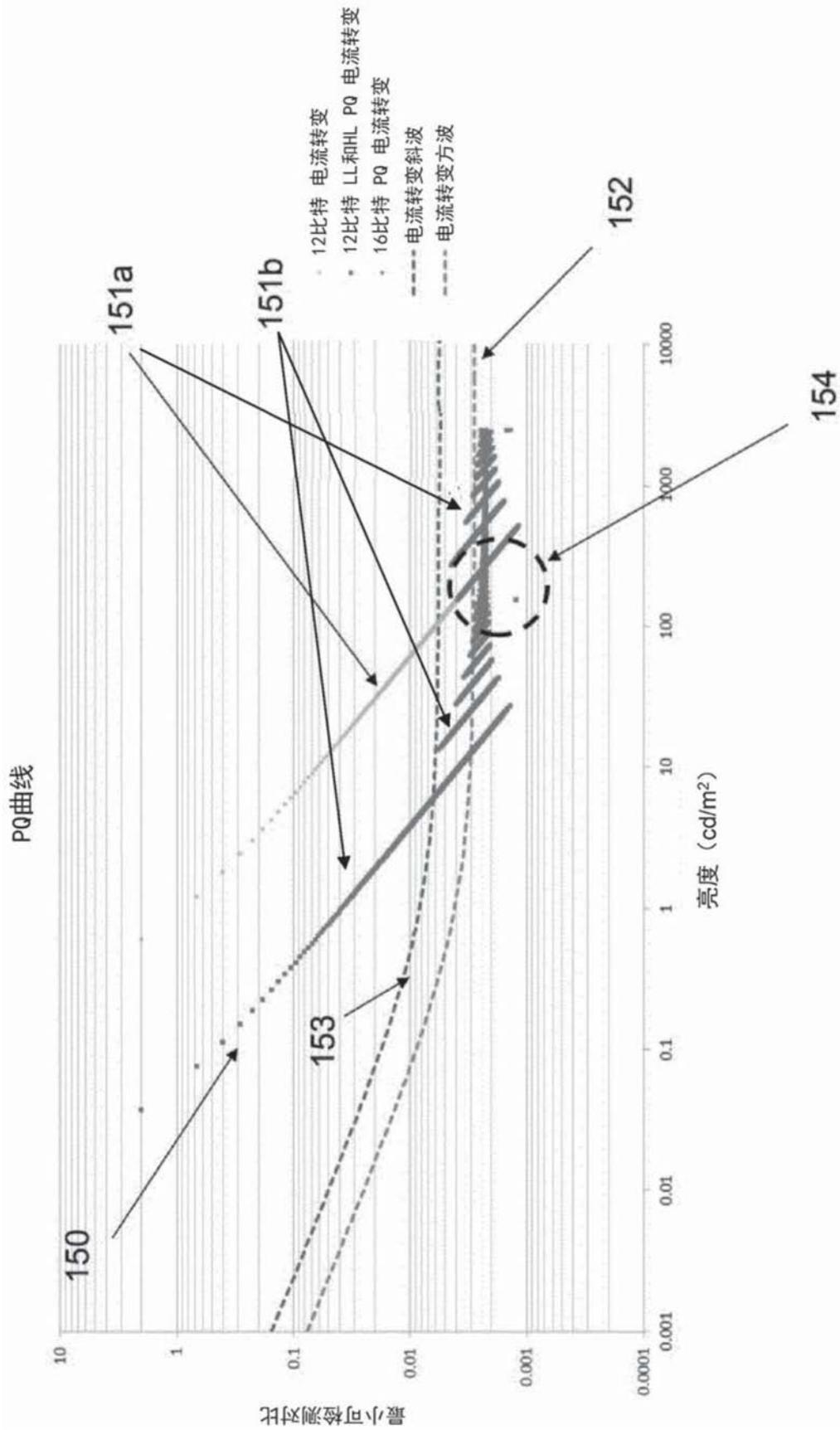


图15

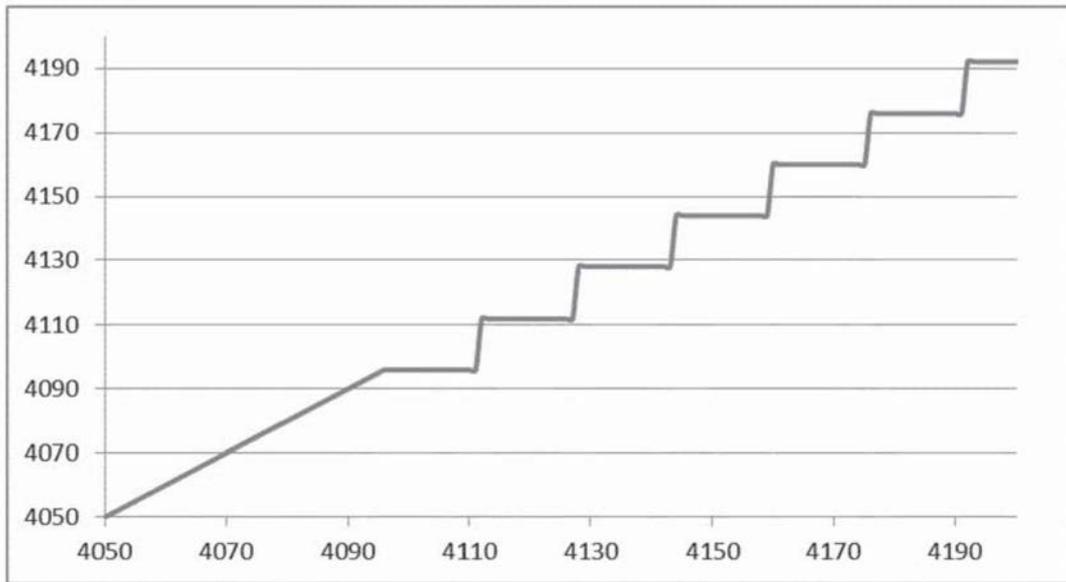


图16a

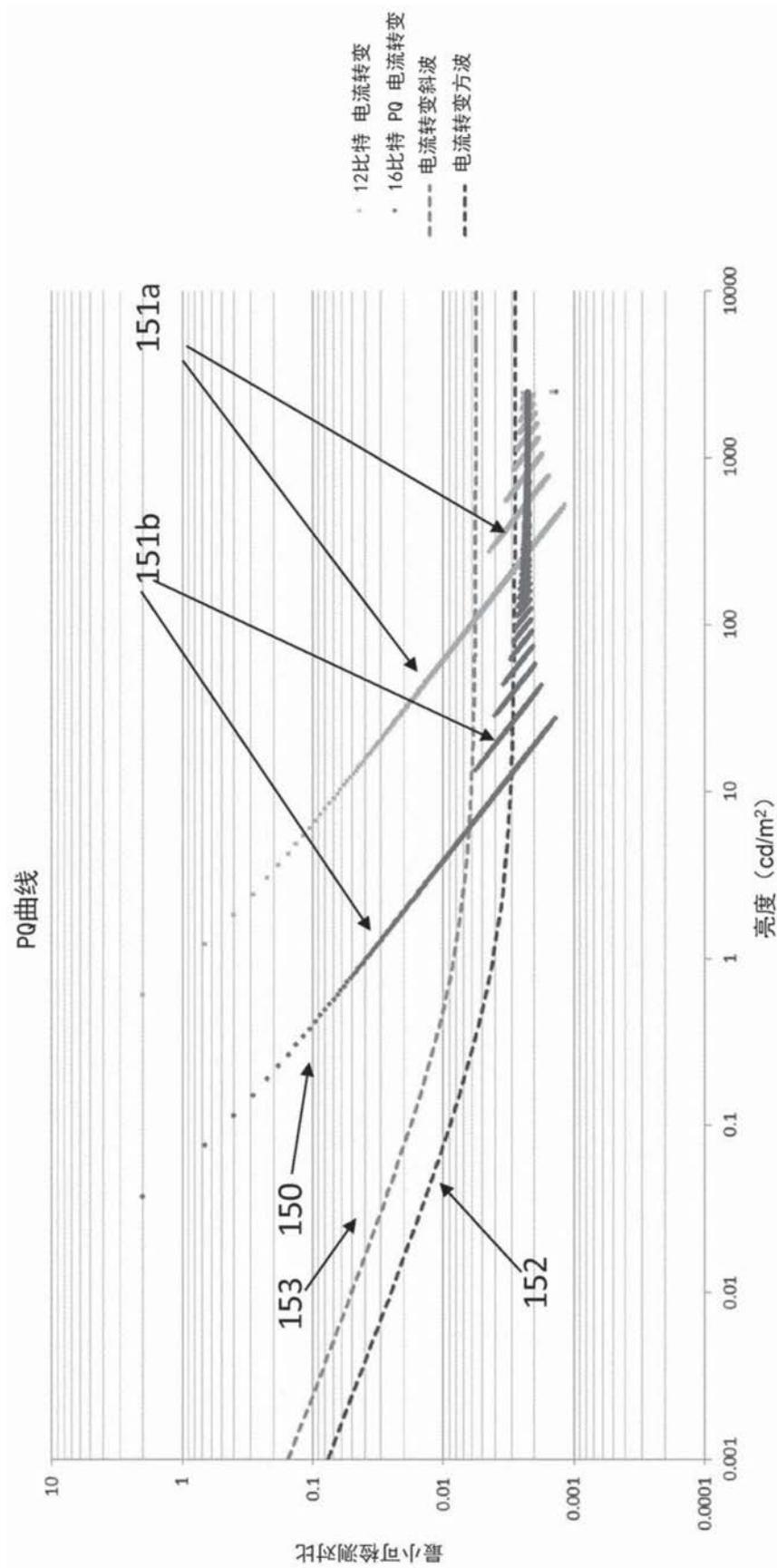


图16b

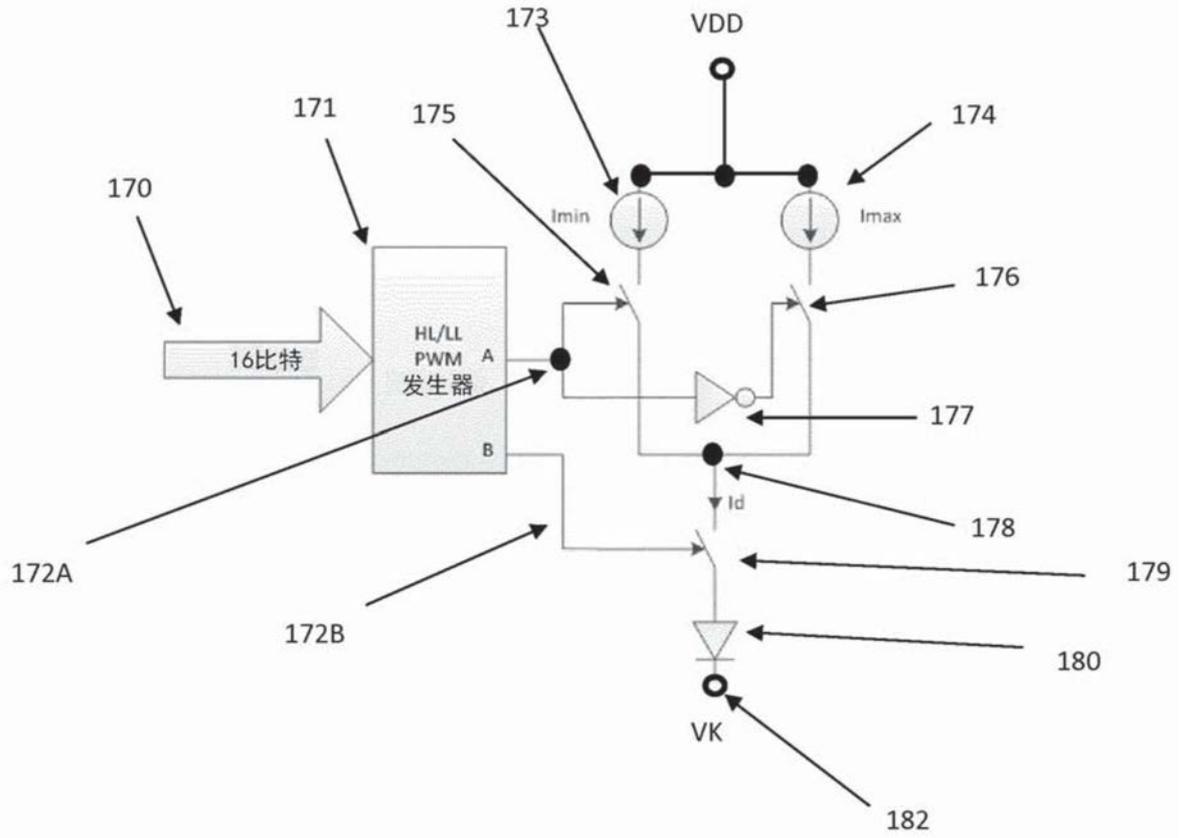


图17A

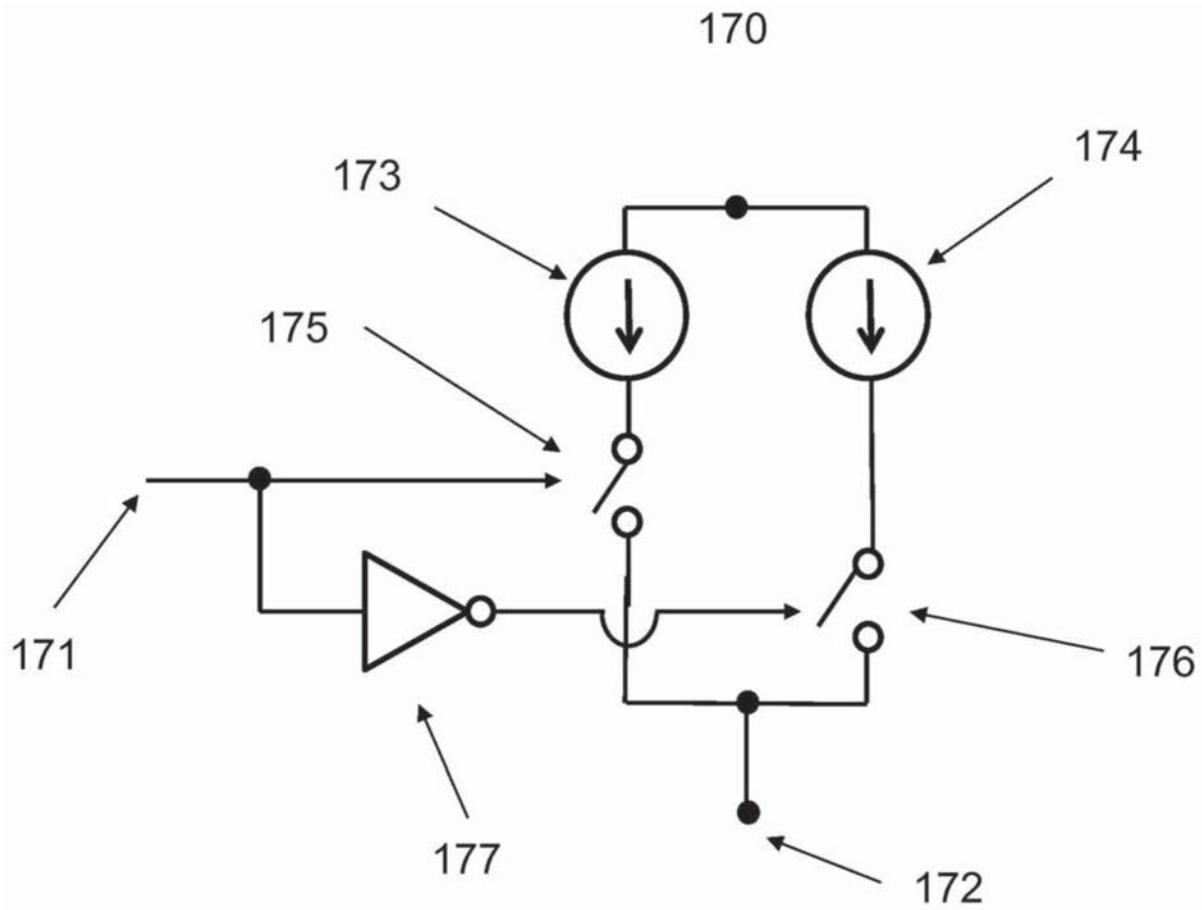


图17B

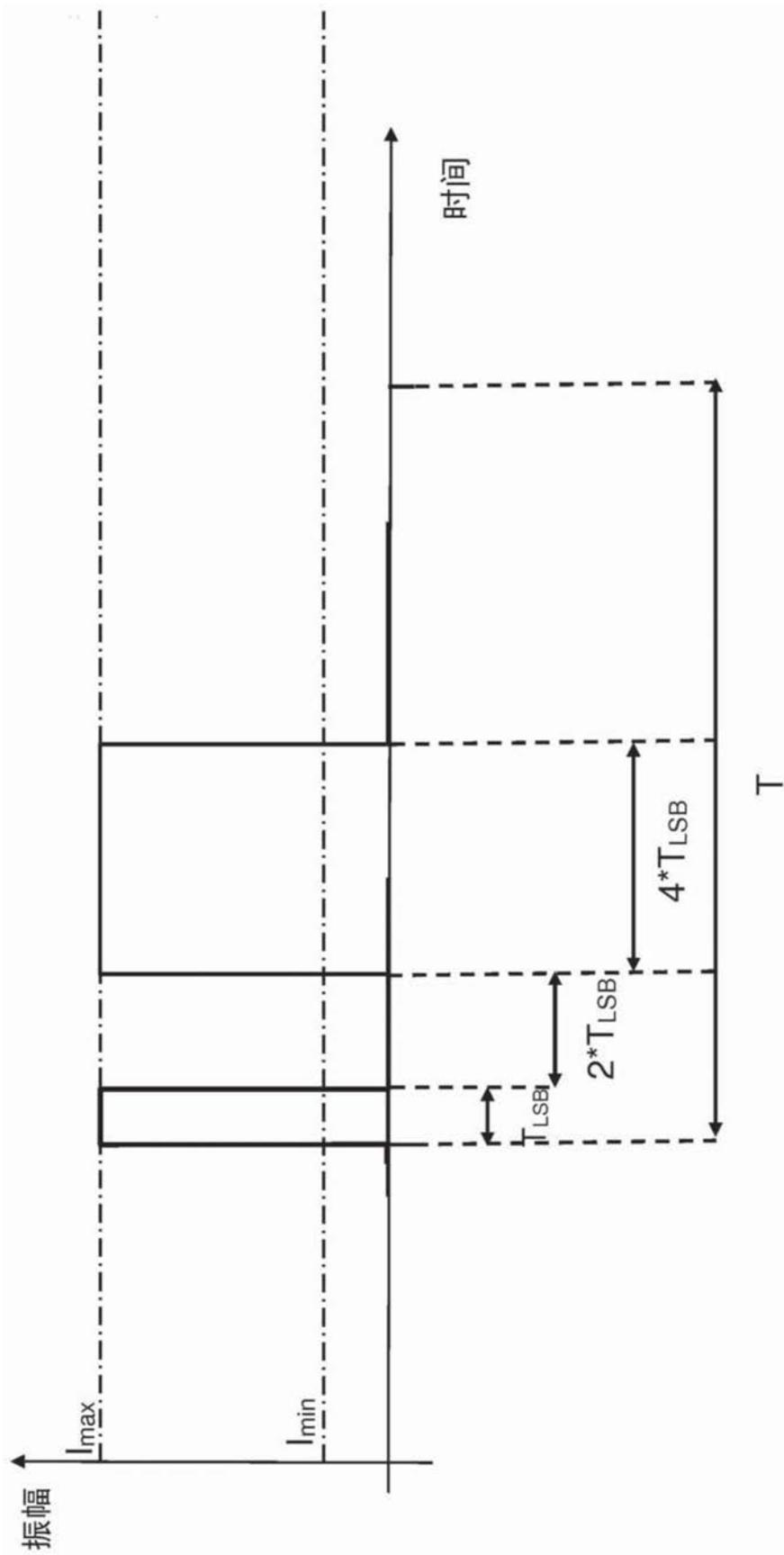


图18A

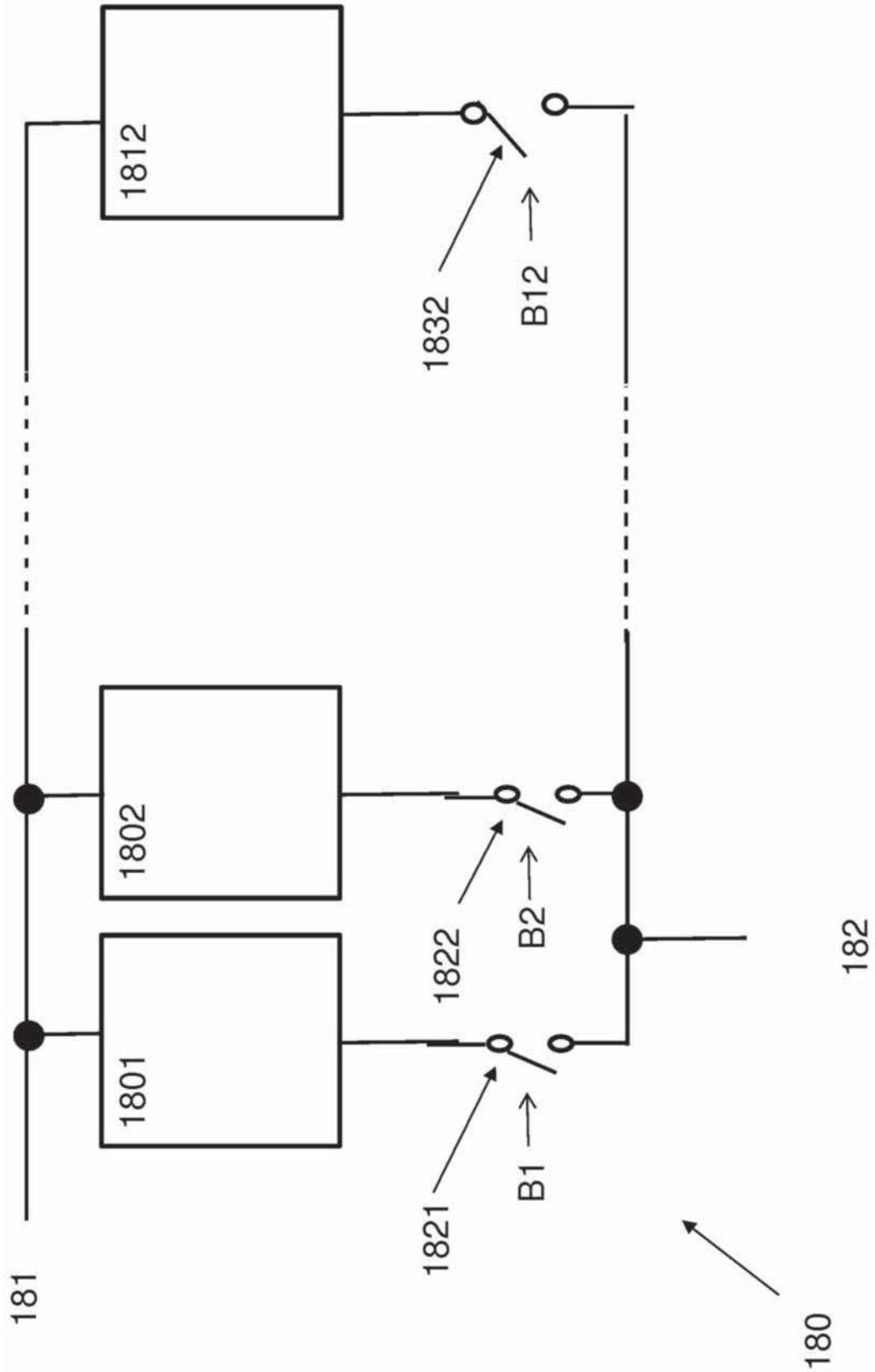


图18B

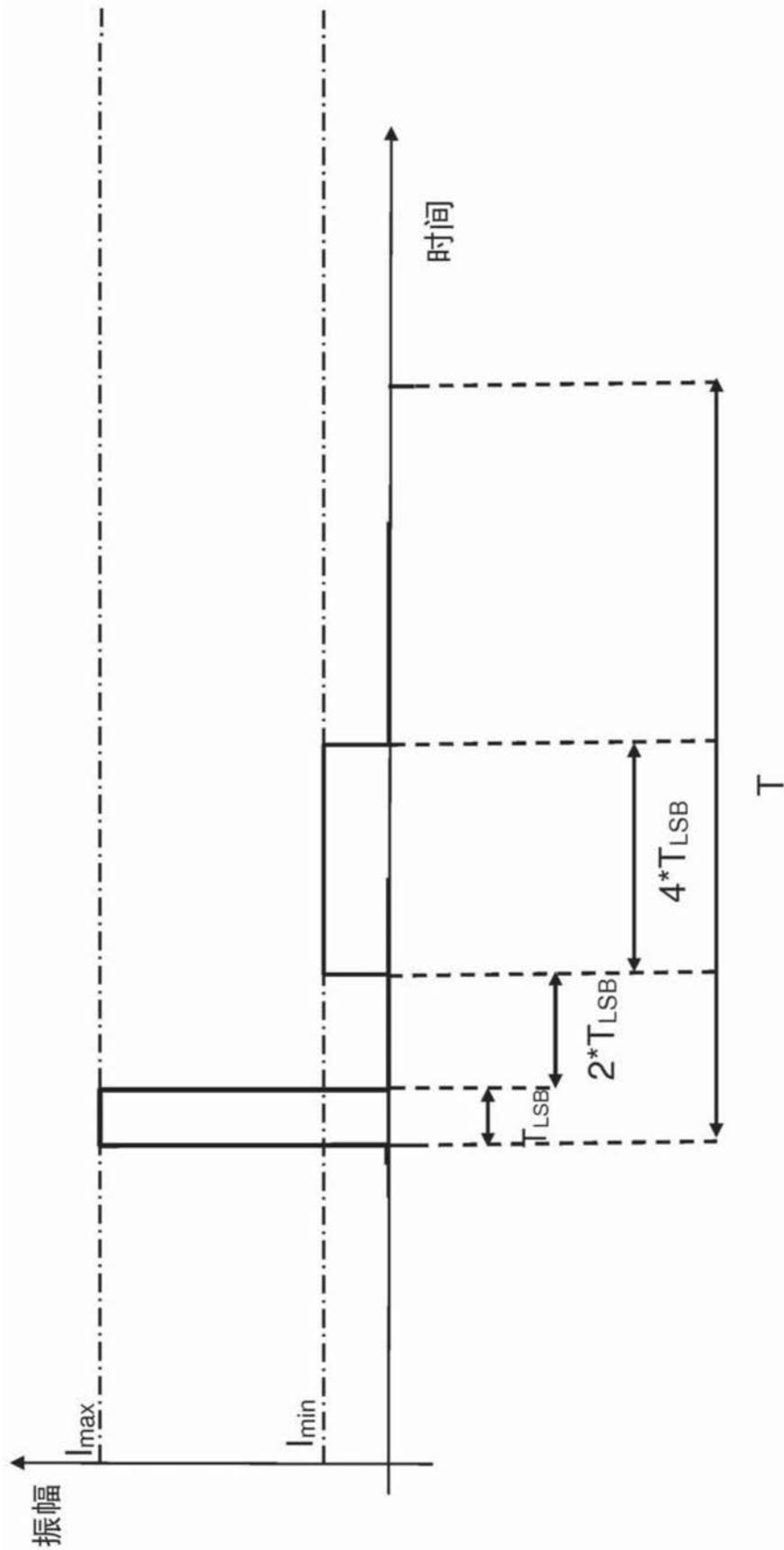


图19A

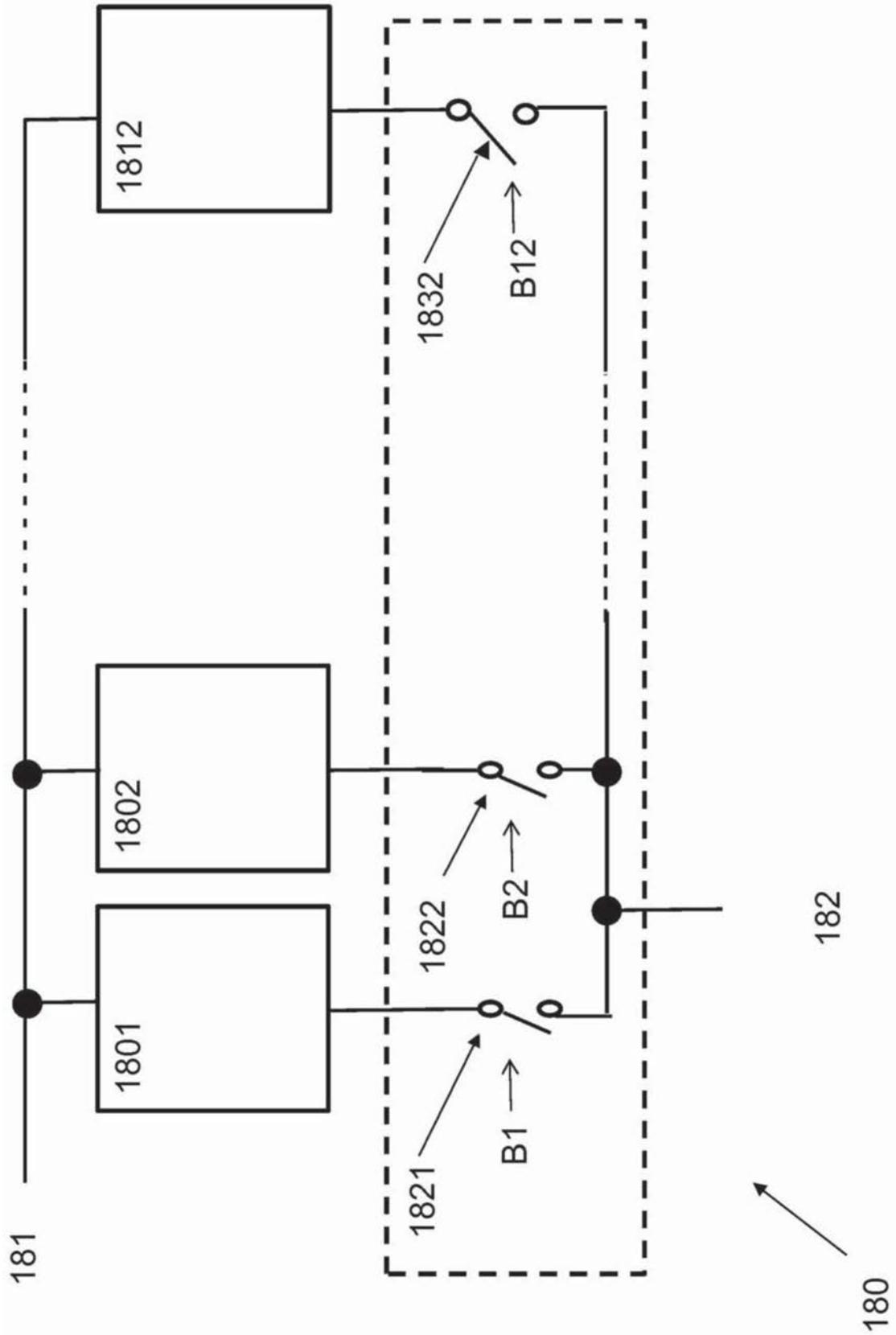


图19B

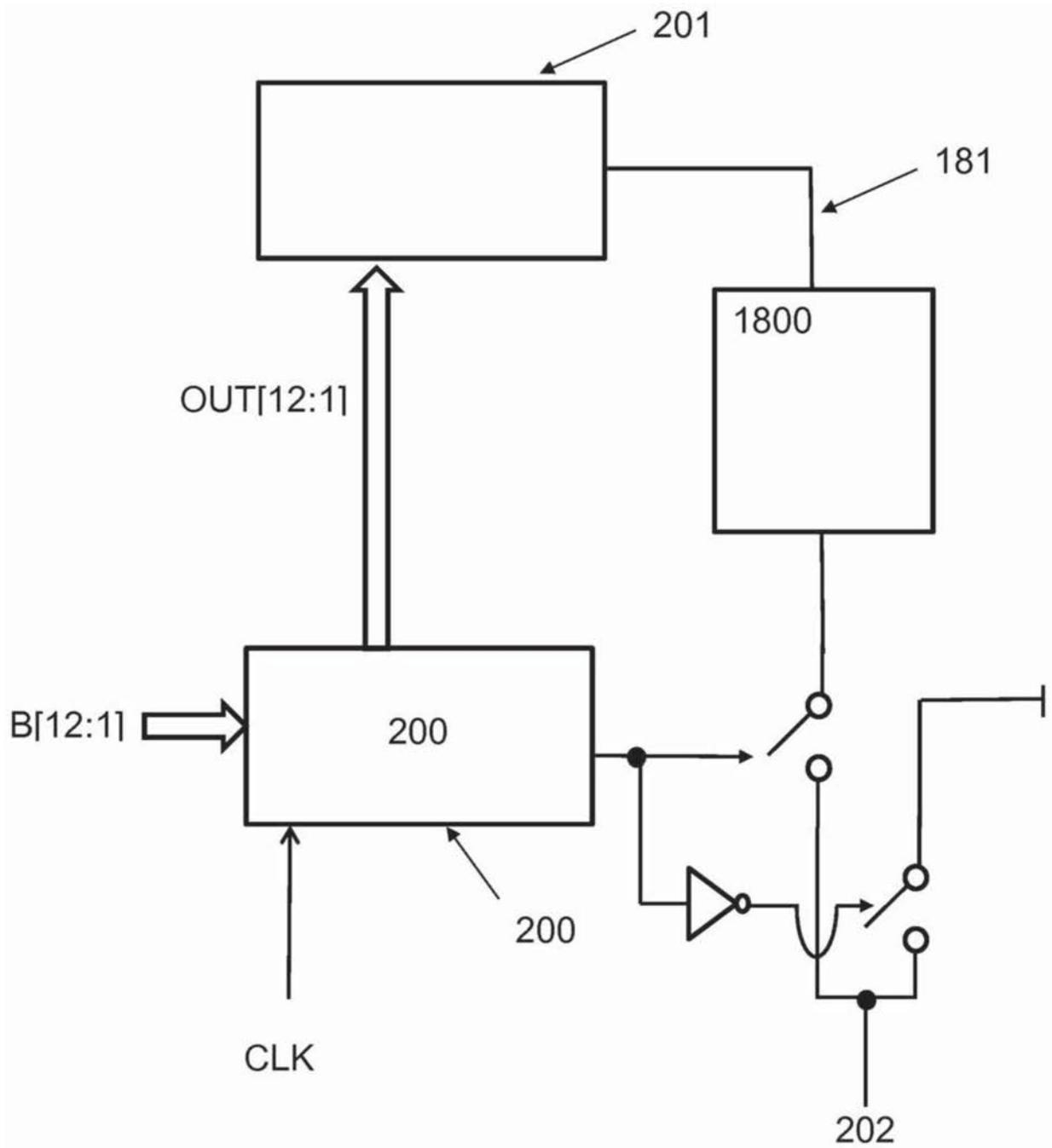


图20

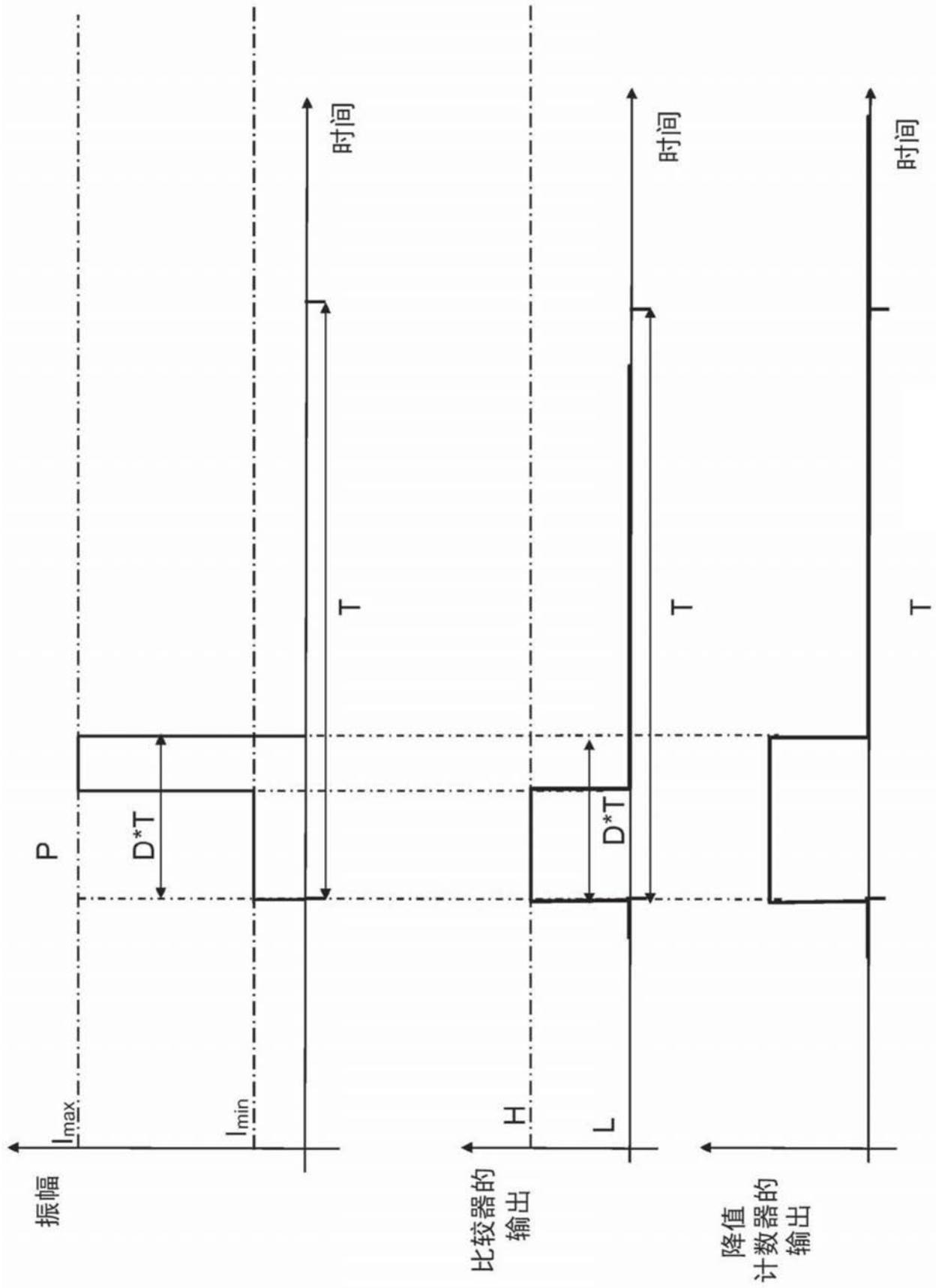


图21

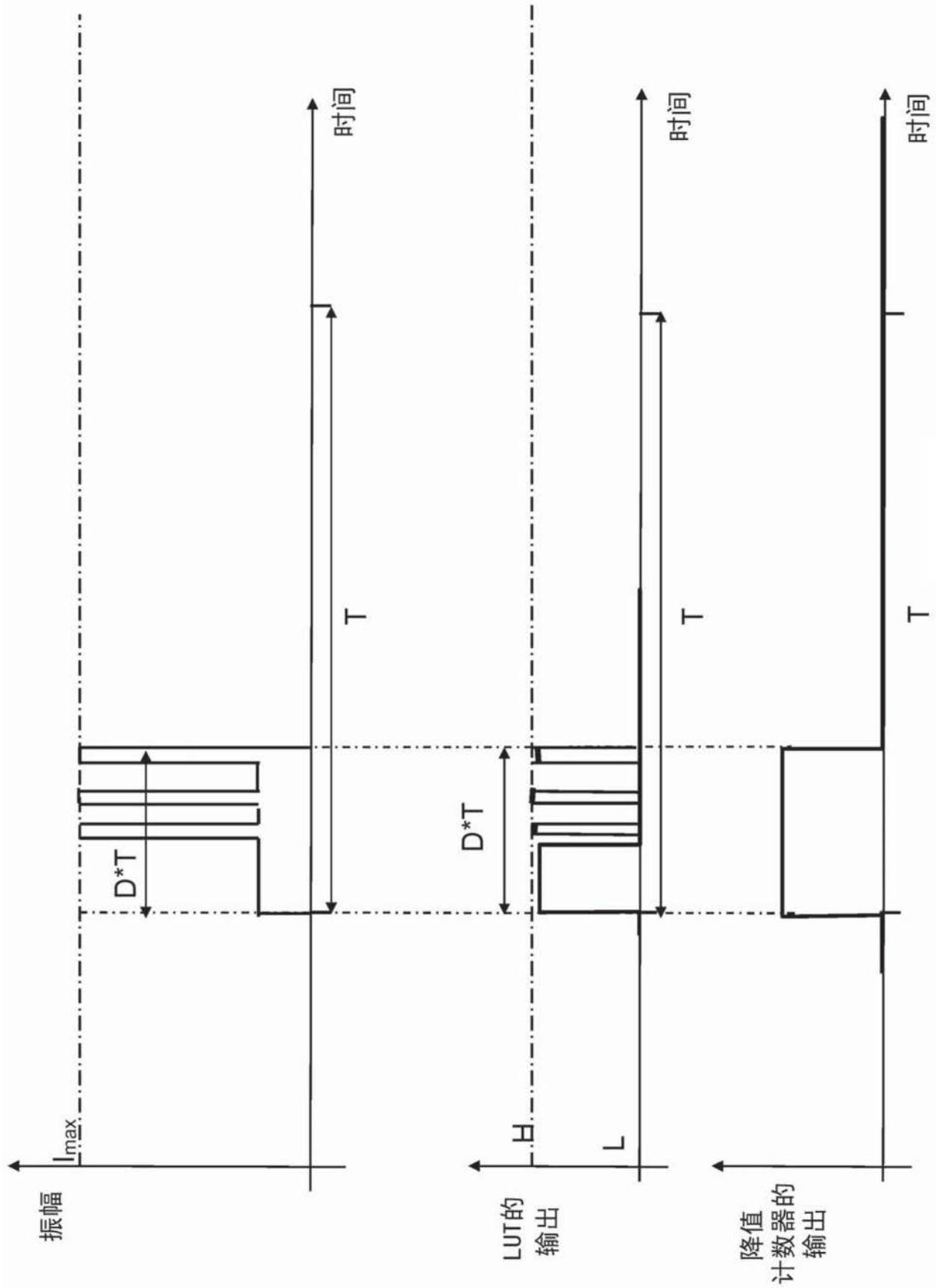


图22

输入值	比特 11	比特 10	比特 9	比特 8	比特 7	比特 6	比特 5	比特 4	比特 3	比特 2	比特 1	比特 0
4094	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4095	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4096	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

160



图23

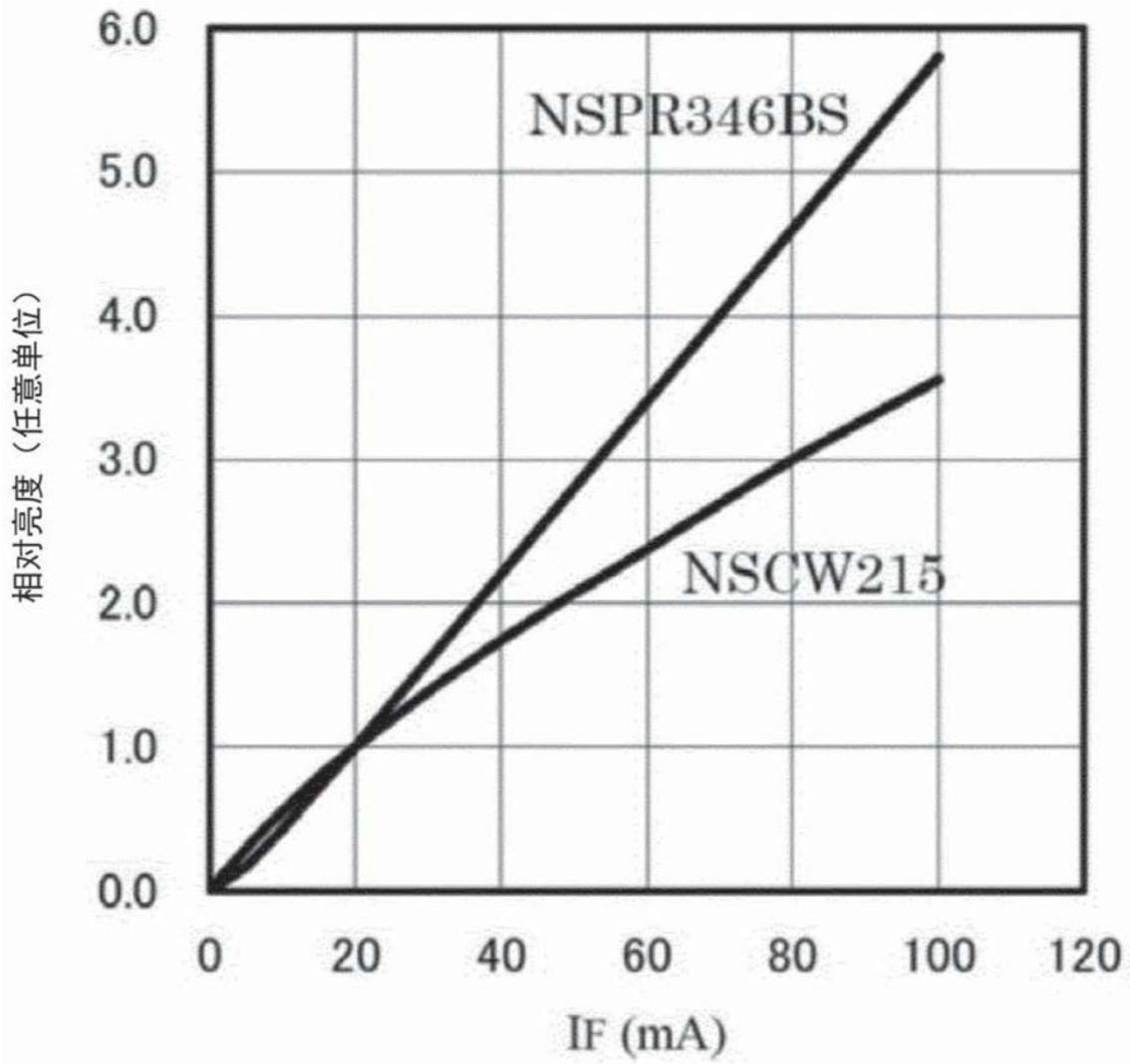


图24

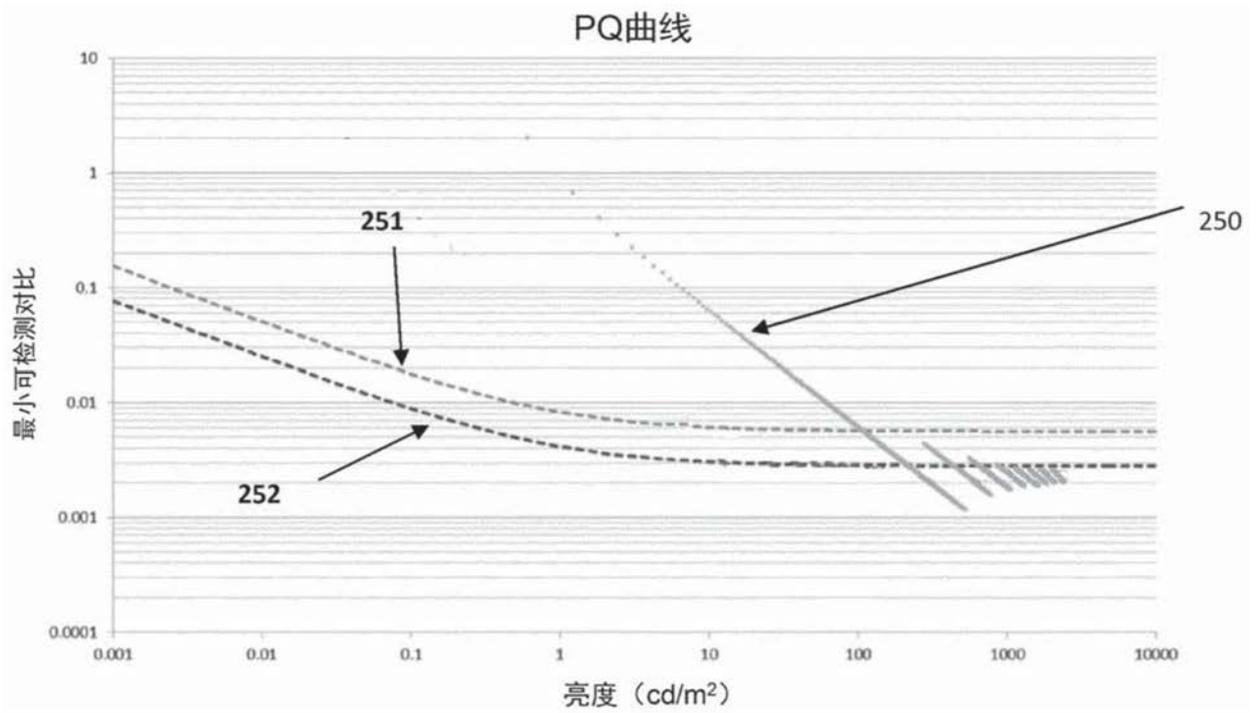


图25

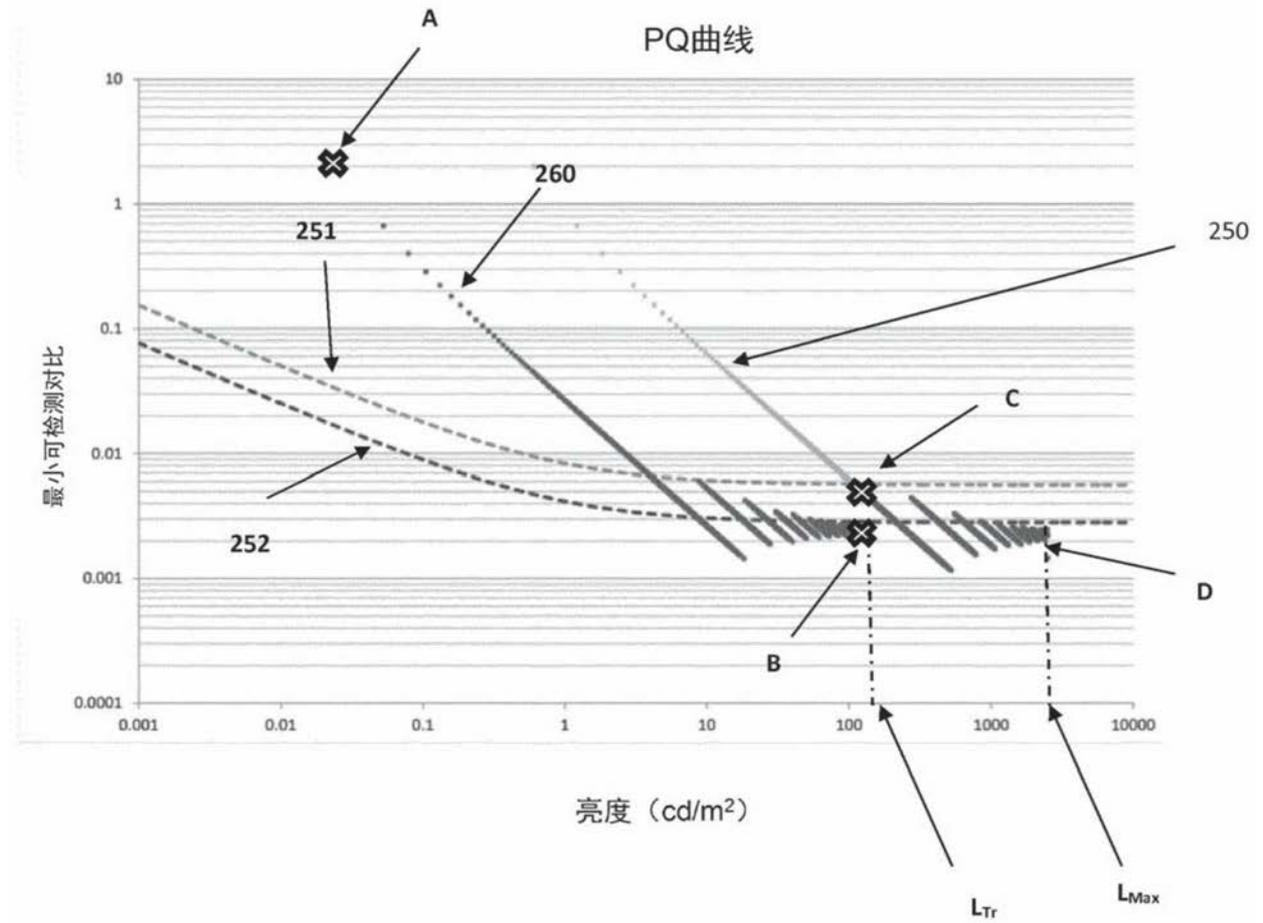


图26

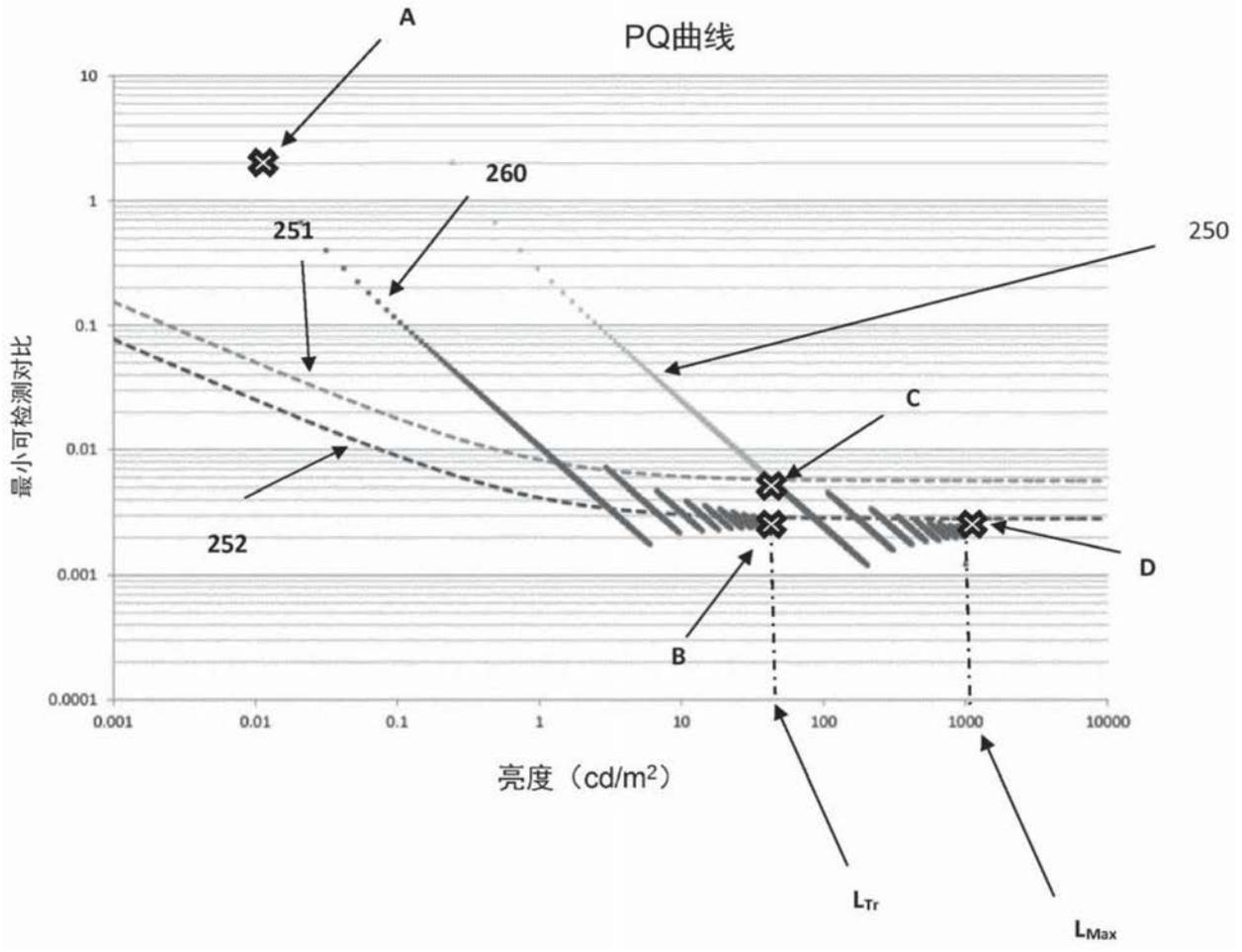


图27

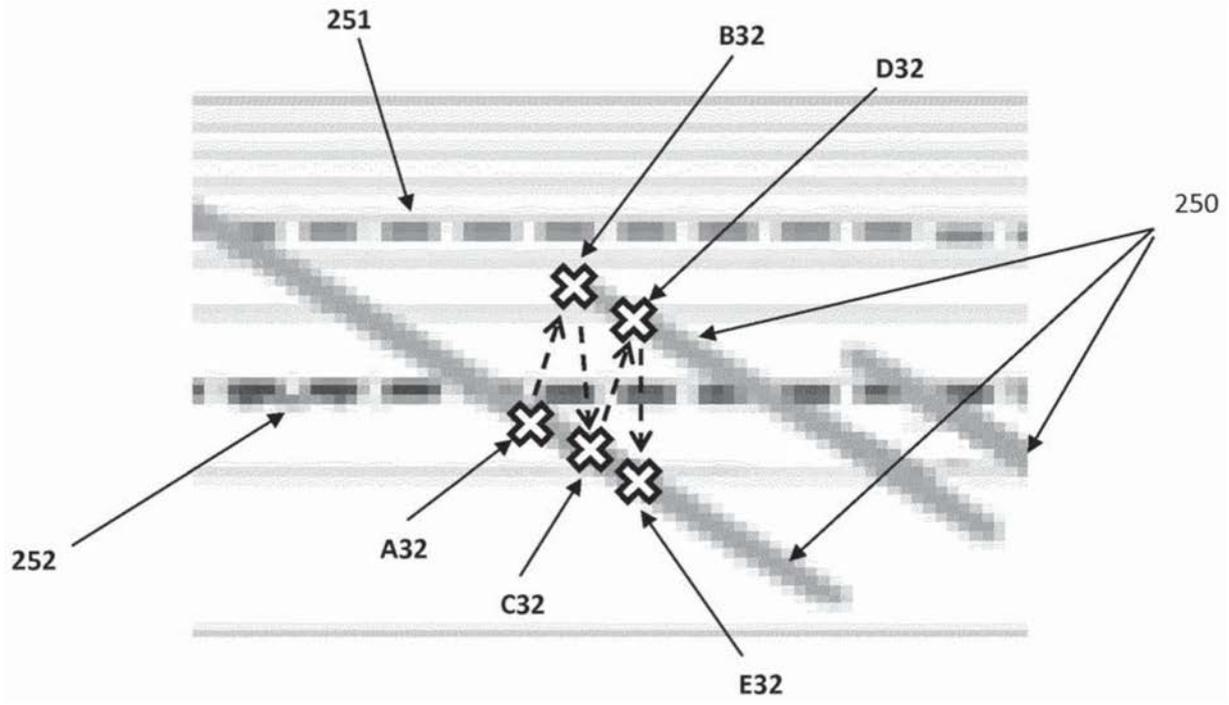


图28