



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113196652 A

(43) 申请公布日 2021. 07. 30

(21) 申请号 201980036503.5

(22) 申请日 2019.10.15

(30) 优先权数据

18248077.2 2018.12.27 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.11.30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2019/056179 2019.10.15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/139443 EN 2020.07.02

(71) 申请人 英特尔公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 斯蒂芬·亨茨勒

克里斯蒂安·克兰兹

奥托·舒马赫 伯恩哈德·索格

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理
有限责任公司 11258

代理人 张敏

(51) Int.Cl.

H03F 1/02 (2006.01)

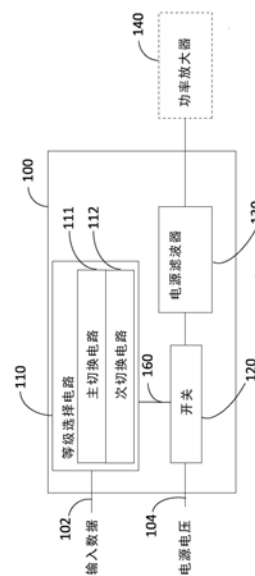
权利要求书2页 说明书9页 附图12页

(54) 发明名称

用于功率放大器的数字包络追踪器

(57) 摘要

用于功率放大器的数字包络追踪器。该数字包络追踪器包括：电源滤波器，用于对功率放大器的电源电压进行滤波；等级选择电路，被配置为基于输入数据流的瞬时功率来确定电源电压等级，基于所确定的电源电压等级调度一系列切换事件，并基于所调度的一系列切换事件生成等级选择信号；以及开关，用于基于等级选择信号将电源电压中的一者连接到所述电源滤波器。等级选择电路基于所确定的电源电压等级来调度开关的主切换事件，并且基于所确定的电源电压等级来调度相对于所述主切换事件延迟的开关的次切换事件，以生成具有较小峰化的电源滤波器的滤波器响应。



1. 一种数字包络追踪器电路, 包括:

等级选择电路, 被配置为基于输入数据流的功率来确定电源电压等级并生成等级选择信号, 其中, 所述等级选择信号是基于由每个所确定的电源电压等级触发的一系列电压等级变化而生成的; 以及

开关, 被配置为基于所述等级选择信号将不同等级的多个电源电压中的一者连接到电源滤波器。

2. 根据权利要求1所述的数字包络追踪器电路, 其中, 所述等级选择电路包括:

主切换电路, 被配置为基于所确定的电源电压等级来调度所述开关的主切换事件;

次切换电路, 被配置为基于所确定的电源电压等级在从所述主切换事件延迟的时间实例处调度所述开关的次切换事件; 以及

组合器, 被配置为组合所述主切换事件和先前调度的次切换事件以生成所述等级选择信号。

3. 根据权利要求2所述的数字包络追踪器电路, 其中, 所述次切换电路被配置为在所述主切换事件之后的时间实例处调度所述次切换事件, 以生成具有减小的峰化的所述电源滤波器的滤波器响应。

4. 根据权利要求2所述的数字包络追踪器电路, 其中, 所述次切换电路包括:

第一移位寄存器, 用于记录针对所述电源电压的提高了的次切换事件; 以及

第二移位寄存器, 用于记录针对所述电源电压的降低的次切换事件。

5. 根据权利要求2所述的数字包络追踪器电路, 其中, 所述等级选择电路包括积分器, 所述积分器被配置为对所述组合器的至少两个输出进行积分以生成所述等级选择信号。

6. 根据权利要求1-5中任一项所述的数字包络追踪器电路, 还包括:

所述电源滤波器, 被配置为对所述电源电压进行滤波。

7. 根据权利要求1-5中任一项所述的数字包络追踪器电路, 还包括:

钳位设备, 被配置为以预定的最大等级限制所述电源滤波器的输出。

8. 根据权利要求2-5中任一项所述的数字包络追踪器电路, 其中, 所述次切换包括: 在与所述主切换相反的方向上从所述主切换起的第一延迟时间处的第一个次切换, 以及在与所述主切换相同的方向上从所述第一个次切换起的第二延迟时间处的第二个次切换。

9. 根据权利要求8所述的数字包络追踪器电路, 其中, 所述第一延迟时间和所述第二延迟时间是基于所述电源滤波器的阶跃响应确定的。

10. 根据权利要求8所述的数字包络追踪器电路, 包括:

峰值检测器, 被配置为提供峰值测量信号, 所述峰值测量信号表示所述电源滤波器的阶跃响应的峰化量; 以及

校准电路, 被配置为基于所述峰值测量信号在减小所述电源滤波器的所述阶跃响应的所述峰化的方向上调谐所述第一延迟时间和/或所述第二延迟时间。

11. 一种对电源电压进行数字包络追踪和控制的方法, 其中, 多个电源电压中的一个电源电压经由开关被供应, 所述方法包括:

确定输入数据流的功率;

基于所述输入数据流的所述功率确定电源电压等级; 以及

生成等级选择信号, 其中, 所述等级选择信号是基于由每个所确定的电源电压等级触

发的一系列电压等级变化而生成的。

12. 根据权利要求11所述的方法, 其中, 所述等级选择信号是通过以下方式生成的:

基于所确定的电源电压等级来调度所述开关的主切换事件;

基于所确定的电源电压等级来调度从所述主切换事件延迟的所述开关的次切换事件;

以及

组合所述主切换事件和先前调度的所述次切换事件, 以生成用于所述开关的所述等级选择信号。

13. 根据权利要求12所述的方法, 其中, 经由电源滤波器供应所述多个电源电压中的一个电源电压, 并且在所述主切换事件之后的时间实例处调度所述次切换事件, 以生成具有减小的峰化的所述电源滤波器的滤波器响应。

14. 根据权利要求12所述的方法, 其中, 所述次切换包括: 在与所述主切换相反的方向上从所述主切换起的第一延迟时间处的第一个次切换, 以及在与所述主切换相同的方向上从所述第一个次切换起的第二延迟时间处的第二个次切换。

15. 根据权利要求13所述的方法, 包括:

确定所述电源滤波器的阶跃响应的峰化量; 以及

基于所述峰化量在减小所述电源滤波器的所述阶跃响应的所述峰化的方向上调谐所述第一延迟时间和/或所述第二延迟时间。

16. 根据权利要求13-15中任一项所述的方法, 其中, 所述一系列电压等级变化被调度, 以使得所述电源滤波器的第一阶跃响应与所述电源滤波器的第二和第三阶跃响应相组合, 从而使阶跃响应的组合的稳态值等于所述第一阶跃响应的稳态值, 并且使所述阶跃响应的组合的峰化小于所述第一阶跃响应的峰化。

17. 一种机器可读存储装置, 包括机器可读指令, 所述机器可读指令在被执行时用以实现根据权利要求11所述的方法。

用于功率放大器的数字包络追踪器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2018年12月27日提交的欧洲专利申请第EP18248077.2号的优先权，其全部内容以引用方式整体并入本文。

技术领域

[0003] 示例涉及一种用于功率放大器的数字包络追踪器，更具体地，涉及一种具有用于射频(RF)功率放大器的低损耗电源滤波器并且具有较低峰化(peaking)的数字包络追踪器。

背景技术

[0004] 包络追踪是一种调整RF功率放大器电源电压以确保RF功率放大器的工作效率接近其峰值效率的方案。在数字包络追踪中，RF功率放大器的电源电压是离散的电压等级。包络追踪器根据输入数据流的瞬时RF功率在这些离散电压等级之间逐步切换。开关和PA功率放大器输入之间的电源滤波器(例如无源滤波器)用于使从一个电压等级到另一电压等级的过渡平滑，以实现低带外噪声等级，并在接收器双工频率间隙处消除噪声。该电源滤波器需要具有低损耗，因为电源滤波器中的任何损耗都会降低整个包络追踪的效率。另外，电源滤波器的阶跃响应不必太高，因为峰化将导致违反功率放大器的最大电压要求。这两个要求是矛盾的，因为无损LC滤波器会出现峰值和振铃。

附图说明

[0005] 下面将仅通过示例的方式并参照附图描述装置和/或方法的一些示例，

[0006] 其中：

[0007] 图1是根据一个示例的数字包络追踪器的框图；

[0008] 图2示出了根据一个示例的数字包络追踪器；

[0009] 图3示出了根据一个示例的等级选择电路的细节；

[0010] 图4A是没有延迟切换的切换示例；

[0011] 图4B是有延迟切换的切换示例；

[0012] 图5A示出了作为脉冲串(pulse train)的延迟切换事件的示例；

[0013] 图5B和5C示出了两个主切换事件及其次切换事件和重叠结果的示例；

[0014] 图6示出了具有缓冲电阻的示例电源滤波器；

[0015] 图7A-7C示出了针对不同延迟时间的电源滤波器的阶跃响应；

[0016] 图8示出了单个上下切换脉冲随时间T1的能量损耗的示例；

[0017] 图9示出了在不使用缓冲电阻器的情况下单个上下切换脉冲随时间T1的能量损耗的示例；

[0019] 图10是根据一个示例的数字包络追踪和控制到功率放大器的电源电

[0020] 压的过程的流程图；以及

[0021] 图11示出了根据一个示例的数字包络追踪器,其包括峰值检测器和
[0022] 校准电路。

具体实施方式

[0023] 现在将参照附图更全面地描述各种示例,附图中图示了一些示例。在附图中,为了清楚起见,线、层和/或区域的厚度可能被放大。

[0024] 因此,尽管其他示例能够进行各种修改和替代形式,但是其中一些特定示例在附图中示出并且随后将对其进行详细描述。然而,该详细描述不将其他示例限于所描述的特定形式。其他示例可以涵盖落入本公开范围内的所有修改、等同形式和替代形式。在整个附图的描述中,相同的附图标记指代相同或相似的元件,当提供相同或相似的功能性时,它们可以彼此相同地实现或以修改的形式实现。

[0025] 要理解的是,当元件被称为“连接”或“耦合”到另一元件时,这些元件可以直接连接或耦合或经由一个或多个中间元件。如果两个元件A和B使用“或”来组合,则应理解为公开了所有可能的组合,即仅A、仅B、以及A和B。相同组合的替代措辞是“A和B中的至少一个”。这也适用于多于两个元件的组合。

[0026] 本文中用于描述特定示例的术语并不旨在限制其他示例。每当使用诸如“一”、“一个”和“该”之类的单数形式并且使用仅单个元件并没有被明确地或隐含地定义为是强制性的时,其他示例也可以使用多个元件来实现相同的功能性。同样,当随后将功能性描述为使用多个元件来实现时,其他示例可以使用单个元件或处理实体来实现相同的功能性。还要理解的是,当在本文中使用术语“包括(comprises)”、“包括(comprising)”、“包含(includes)”、和/或“包含(including)”时,其指定了所述特征、整数、步骤、操作、过程、动作、元件、和/或组件的存在,但并不排除一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、过程、动作、元件、组件和/或其任何群组的存在或添加。

[0027] 除非另有定义,否则本文中所有术语(包括技术术语和科学术语)均以其所属示例所在领域的普通含义使用。

[0028] 为了减小电源滤波器的阶跃响应中的峰化,可以使用缓冲(snubber)网络,该缓冲网络是与电阻器串联的电容器。缓冲网络中的电阻器耗散了振铃能量,因此减小了峰化。通过燃烧能量来减小峰化。然而,该方案会增加电源滤波器中的交流电(AC)损耗,从而使数字包络追踪器的效率降低。

[0029] 公开了一种数字包络追踪器的示例,该数字包络追踪器具有用于RF功率放大器的低损耗和高Q电源滤波器,并且具有较低的峰化,从而不违反RF功率放大器的最大电压要求。

[0030] 图1是根据一个示例的数字包络追踪器100的框图。数字包络追踪器100可以包括等级选择电路110、开关120和电源滤波器130。电源滤波器130被配置为对供应给功率放大器140的电源电压104进行滤波。电源电压104是离散的电压等级并且包络追踪器100根据输入数据流102的瞬时RF功率在这些离散的电压等级之间逐步切换。开关120和功率放大器140的输入之间的电源滤波器130用于使电源电压从一个等级到另一等级的过渡平滑。电源滤波器130可以是无源滤波器。

[0031] 等级选择电路110被配置为基于输入数据流102的瞬时RF功率来确定电源电压的

等级,基于所确定的电源电压等级来调度开关120的一系列切换事件,并且生成等级选择信号160。瞬时RF功率测量是在时间上提前的瞬时功率预测。瞬时功率不一定是当前时间实例处所需的功率,而是稍微未来的值。开关120被配置为基于等级选择信号160将不同等级的多个电源电压104中的一者连接到电源滤波器130。等级选择信号160可以触发电源电压自当前电源电压等级的提高、降低或不改变。开关120基于等级选择信号160切换到更高或更低的等级或者不改变。在示例中,等级选择电路110被配置为基于所确定的电源电压等级来调度开关120的一系列切换事件。

[0032] 在示例中,等级选择电路110包括主切换电路111和次切换电路。主切换电路111被配置为基于输入数据流102的瞬时功率来发起主切换事件,并且次切换电路112被配置为响应于该主切换事件来调度开关120的次(即,延迟的、派生的)切换事件。主切换事件是基于输入数据流的瞬时功率调度的开关120的切换事件。次切换事件是响应于主切换事件而在从主切换起的预定时间段之后调度的开关120的切换事件。例如,如果主切换事件被调度来进行向上切换,则次切换事件可以分别是向下切换、然后在一定时间段之后向上切换。

[0033] 次切换电路112被配置为在主切换之后的时间实例处引起次切换,以生成具有较小峰化(即较小的过冲或下冲)的电源滤波器130的滤波器响应。次切换电路112将开关选择事件(即,主切换)转换成一串切换事件。

[0034] 由于电源电压104是离散的电压等级,其中一个离散的电压等级由开关120切换,所以电源电压在开关120从一个电压等级切换到另一电压等级时会突然改变。这引起了电源滤波器130的阶跃响应。阶跃响应是系统(例如,电源滤波器130)对阶跃输入的瞬态响应(行为)。系统的典型阶跃响应是阻尼振荡,其中系统的输出振荡直至达到稳定状态。在示例中,选择一串切换事件,使得来自电源滤波器130的输出信号是多个滤波器阶跃响应的有利叠加,其有效地导致滤波器响应具有小得多的峰化。

[0035] 在本文公开的示例中,可以利用较小的缓冲电阻器甚至不利用缓冲电阻器来实现在电源滤波器130的输出处(即,在功率放大器140的电源引脚处)的低峰化。这减少了电源滤波器130中的功耗,因此提高了数字包络追踪的效率。另外,更简单的电源滤波器拓扑是可能的。

[0036] 图2示出了根据一个示例的数字包络追踪器100。数字包络追踪器100包括等级选择电路110、开关120和电源滤波器130。数字包络追踪器100可以包括钳位设备(例如钳位二极管150),用于出于安全原因限制来自电源滤波器130的输出电压。在该示例中,经由开关120将六个电压等级中的一者提供给电源滤波器130。应当注意,图2所示的配置仅是示例,并且电源电压等级的数量可以大于或小于6,并且可以是任何数字。

[0037] 电源滤波器130对通过开关120提供的电源电压104进行滤波,然后将滤波后的电源电压提供给功率放大器。电源滤波器130可以被配置为通过或拒绝特定频带,并且可以被用于提取特定频带或针对降低噪声而拒绝。

[0038] 电源滤波器130可以是包括(一个或多个)电感器和(一个或多个)电容器的LC滤波器。电源滤波器130可以包括级联的电感器-电容器网络。在图2所示的示例中,电源滤波器130包括串联电感器和并联电容器。应当注意,图2所示的滤波器配置仅是示例,并且电源滤波器130可以被不同地设计。如图2所示,电源滤波器130可以不包括缓冲电阻,从而可能出现峰化,但是AC功耗将减小。可替代地,电源滤波器130可以包括小的缓冲电阻。图6示出了

具有缓冲电阻602的示例电源滤波器。

[0039] 等级选择电路110基于输入数据流的瞬时RF功率确定电源电压的等级,并将等级选择信号160输出到开关120。在图2的该示例中,基于等级选择信号160选择六个电压等级中的一者。

[0040] 图3示出了根据一个示例的等级选择电路110的细节。等级选择电路110可以是收发器或追踪器芯片的一部分。等级选择电路110可以包括主切换电路111、次切换电路112和组合器118。主切换电路111接收输入数据流102,基于输入数据流102的瞬时RF功率来确定功率放大器的电源电压等级,并确定主切换事件。输入数据流102可以是同相/正交(I/Q)格式(即笛卡尔坐标格式),或者可替代地,可以是极坐标格式。输入数据流102(例如IQ信号)确定需要使用哪个等级才能为功率放大器140提供足够的电源余量。

[0041] 主切换电路111确定是否应该提高或降低当前供应的电压等级。提高或降低可以是逐步的。例如,主切换电路111可以输出整数值 $-N, \dots, -1, 0, +1, \dots, +N$ 中的一者,以降低、不改变或提高当前电源电压等级。电源电压等级的提高或降低可以是一步或多步提高或降低。

[0042] 等级选择电路110(例如,主切换电路111)可以包括阈值检测器。进入的数据流(例如,作为IQ数据)被转换成表示RF信号的瞬时幅度的幅度值。可以将该幅度值与阈值进行比较,并且基于该比较,可以选择最合适的电压等级(例如,大于幅度值的最小电压等级)。该确定是稍微具有前瞻性的(即,当假定幅度将会大于某个阈值时),然后选择相应的电压等级。根据本文公开的示例,基于阈值比较来确定主切换事件,并且通过次(派生的)切换事件来扩展主切换事件。

[0043] 基于输入数据幅度与输入数据幅度阈值等级的前瞻性比较,主切换电路111(例如阈值检测器)可以将电压等级的提高和降低事件(或命令)填充到加载逻辑116a/116b(例如调度器)中。加载逻辑116a/116b可以调度并触发未来的电压等级提高和降低事件。

[0044] 调度器(例如,加载逻辑)可以包括被配置为调度和触发未来电压等级提高事件/命令的第一调度器、以及被配置为调度和触发未来的电压等级降低事件/命令的第二调度器。基于输入数据幅度与输入数据幅度阈值等级的前瞻性比较,主切换电路(阈值检测器)可以将电压等级提高事件/命令填充到第一调度器中,并且将电压等级降低事件/命令填充到第二调度器中。组合器118可以将来自第一调度器的等级提高事件和来自第二调度器的电压等级减小事件组合到电压等级选择信号。

[0045] 该主切换事件可以触发对次(延迟)切换事件的调度。次切换电路112可以响应于主切换事件而引起次切换事件。次切换事件是从主切换事件派生的切换事件,以在从主切换起的预定延迟时间段之后使开关120过渡到不同的等级。次切换事件被调度并存储在例如移位寄存器中或可替代地存储在任务列表中。在延迟时间之后,在组合器118中将次切换事件与当时的主切换事件进行组合,以生成等级选择信号160。

[0046] 可以调度一系列的切换事件,以使电源滤波器130的第一阶跃响应与电源滤波器130的第二和第三阶跃响应相组合,使得阶跃响应的组合的稳态值等于第一阶跃响应的稳态值并使阶跃响应的组合的峰化小于第一阶跃响应的峰化。

[0047] 图4A示出了没有次(延迟)切换的主切换的示例,图4B示出了具有次(延迟)切换的主切换的示例。在图4A和4B中,切换事件被作为脉冲串提供。上升沿指示增量切换,在增量

切换中,开关120将切换到较高的电源电压等级,而下降沿指示减量切换,在减量切换中,开关120将切换到较低的电源电压等级。在图4A和图4B所示的该示例中,主切换事件402是增量切换。第一个次切换事件404在主切换事件402之后的第一延迟时间(T1)处发生,并且第二个次切换事件406在第一个次切换事件404之后的第二延迟时间(T2)处发生。第一个和第二个次切换事件404、406都是从主切换事件402派生的。图4B示出了从主切换事件402派生的两个次切换事件404、406,但是作为替代方案,可以调度多于两个的次切换事件。参照调度两个次切换事件的情况来解释本文公开的示例,但是示例不限于这种情况,并且可以扩展到具有三个或更多个次切换事件的情况。图4B示出了次切换404、406中的电源电压的改变量与主切换402中的改变量相同(例如,主切换402中上升一阶、第一个次切换404中下降一阶以及第二个次切换406中上升一阶)。可替代地,次切换404、406中的变化量可以与主切换402中的变化量不同(例如,主切换402中上升一阶、第一个次切换404中下降两阶以及第二个次切换406中上升两阶)。

[0048] 在图4所示的示例中,可以将用于等级选择的开关120前-后-前地切换(即,增量-减量-增量)。在这种情况下,次切换可以产生两个正阶跃响应和一个负阶跃响应的叠加,这可以抵消电源滤波器130阶跃响应中的峰值。在主切换事件是减量切换的情况下,该串切换可以是后-前-后(即,减量-增量-减量)。

[0049] 次切换电路112可以在主切换事件之后的时间实例处引起次切换事件,以生成具有较小峰化的电源滤波器130的滤波器响应。选择次切换事件,使得来自电源滤波器130的输出信号是多个滤波器阶跃响应的有利叠加,这有效地导致滤波器响应具有小得多的峰化。

[0050] 参照图3,例如,次切换事件可以被调度并存储在例如移位寄存器中或可替代地存储在任务列表等中。例如,次切换电路112可以包括存储用于增量的次切换事件的增量移位寄存器114a、以及用于存储用于减量的次切换事件的减量移位寄存器114b。

[0051] 图5A示出了作为脉冲串的延迟切换事件的示例。切换事件502和508是基于输入数据流的瞬时功率等级确定的常规主切换事件。主切换事件502、508可以是增量切换或减量切换。切换事件504和512是分别从主切换事件502和508派生的次切换事件,将被存储在减量移位寄存器114b中。切换事件506和510是分别从主切换事件502和508派生的次切换事件,将被存储在增量移位寄存器114a中。

[0052] 由不同的主切换事件发起的次切换事件可以重叠。图5B和5C示出了两个主切换事件及其次切换事件的示例以及重叠结果。图5B的前两行分别示出了第一和第二主切换事件,其后分别是从每个主切换事件派生的次切换事件。图5B的第三行示出了两个主切换事件及其次切换事件的重叠结果。图5C示出了两个主切换事件和次切换事件以及重叠结果的另一示例。

[0053] 再次参照图3,用于移位寄存器的加载逻辑116a、116b响应于主切换事件而将次切换事件分别加载到移位寄存器114a、114b。针对延迟时间T1和T2,次切换事件被加载到移位寄存器114a、114b。次切换事件在每个时钟沿移位寄存器114a、114b移位,并且在延迟时间(例如分别在T1和T2)之后,那些先前调度的次切换事件在组合器118中与当时的主切换事件组合,以确定需要切换到电源滤波器130的新电源电压等级(即,等级选择信号160)。

[0054] 等级选择电路110可以包括积分器119(例如,环路滤波器),用于在生成到开关120

的等级选择信号160之前对组合器118的输出进行积分。

[0055] 图7A-7C示出了在一个示例中针对不同延迟时间(T1)的电源滤波器130的阶跃响应。图7A-7C示出了在T2固定的情况下具有变化的T1的电源滤波器130的阶跃响应作为示例。图7A-7C是用于示出延迟时间T1和T2的选取如何影响电源滤波器130的阶跃响应的示例。通过适当地选择T1和T2(特定于滤波器),电源滤波器130可以示出即在使没有缓冲电阻的情况下也具有非常低的峰化的阶跃响应。在图7A-7C的示例中,峰化在 10^{-8} 秒的T1处最低。由于适当的延迟时间T1和T2是特定于滤波器的,因此应针对不同的电源滤波器结构选择不同的T1和T2值。

[0056] 即使没有缓冲电阻,系统中也存在寄生电阻。这种寄生电阻会导致振铃衰减,但也会消散振铃能量,这是效率损耗。峰化和振铃越低,损耗就越低。这可以在图8中看到。图8示出了单个上下切换脉冲随时间T1的能量损耗的示例。如果正确选取了T1,则功耗可能是最小的(曲线的峰值是负数)。这是在电源滤波器130中具有0.50hm的缓冲电阻的示例,如图6所示。图8示出了每个切换事件的能量损耗可以大致减少1/2,即从34nJ(在T1=0时)减少到18nJ(在T1=约40ns时,在曲线图的峰值处)。

[0057] 如果根本不使用缓冲电阻,则好处会更高。图9示出了在不使用缓冲电阻器的情况下单个上-下切换脉冲随时间T1的能量损耗的示例。图9示出每个切换事件的能量损耗大致减少2/3(在滤波器中节省了3倍的能量),即从34nJ(在T1=0时)减少到11nJ(在曲线图的峰值处T1=约40ns时)。

[0058] 如果延迟时间T1或T2设置不正确(例如,由于固件错误等),则在电源滤波器130的输出处可能会出现峰化。为了避免该峰化(在错误情况下可能会发生)损坏功率放大器140,可以包括钳位装置(例如二极管)以将电源滤波器130的输出限制在预定的最大等级(例如最高电源电压等级)。图2示出了钳位二极管150,该钳位二极管150连接在电源滤波器130的输出和最高电源电压104之间。如果峰化太高,则二极管150将电压等级钳位到不会损坏功率放大器140的值。

[0059] 峰值检测器170(图2所示)可以连接到电源滤波器130的输出,即,连接到功率放大器的输入或电源滤波器130的中间节点。峰值检测器170可以测量峰值并提供峰值测量信号,该峰值测量信号表示电源滤波器130的阶跃响应的峰化量。基于峰值检测器170的测量结果,校准电路172可以连续(并自动)地调整延迟时间T1和/或T2以获得最低的峰化,因此功耗也最低。校准电路172可以基于峰值测量信号在减小电源滤波器的阶跃响应的峰化的方向上调谐第一延迟时间和/或第二延迟时间。

[0060] 图11示出了根据一个示例的包括峰值检测器170和校准电路172的数字包络追踪器。在PA电源滤波器的输出处(即功率放大器的输入处)的电压峰化取决于延迟时间T1和T2的设置。由于PA电源滤波器130和功率放大器140中的组件可能随时间、随电压、和/或随温度按不同的部分而变化(例如,电感L、电容C或电阻器R),所以时间T1和T2可能也会有所变化。因此,峰值检测器170可以附接到PA电源滤波器130的输出。峰值检测器170可以是在单次测量(single shot)中测量峰值的ADC、迭代ADC或具有可调阈值的阈值检测器(例如,具有可调阈值的比较器)。峰值检测器170测量是否已经达到某个峰化等级,或者其量化为数字表示中的峰化。峰值检测器170将实际峰值数字提供给校准电路172。校准电路172(优化器)还可以接收峰值的目标值(可编程峰值目标或阈值),并尝试使峰值最小化或使峰值等

于提供的峰值目标。校准电路172可以调整时间T1和T2,使得达到优化目的。校准电路172可以为T1和T2的增加或减少迭代地计算 $\Delta T1$ 和 $\Delta T2$,并通过环路滤波器173计算T1和T2。然后,校准电路172将调整后的T1和T2值提供给等级选择电路110(例如,加载逻辑116a/116b)。被提供给加载逻辑116a/116b(调度器)的实际T1和T2值可以连续增加或减少。时间T1和T2的调谐可以连续地进行以便永久地适应实际条件,也可以是周期性地,即,当预期会发生重大变化时,不时地进行。

[0061] 图10是根据一个示例的数字包络追踪和控制功率放大器的电源电压的过程的流程图。确定输入数据流的瞬时功率(1002)。基于输入数据流的瞬时功率来确定用于功率放大器的电源电压的等级(1004)。基于所确定的电源电压等级来调度开关的一系列切换事件,包括主切换事件和次切换事件(1006)。基于所确定的电源电压等级来调度主切换事件,并且基于所确定的电源电压等级相对于主切换事件来调度次切换事件。基于所调度的一系列切换事件来生成等级选择信号(1008)。将调度的切换事件相组合以生成用于开关的等级选择信号。基于等级选择信号,经由电源滤波器将电源电压之一切换到功率放大器(1010)。

[0062] 另一示例是具有程序代码的计算机程序,当该计算机程序在计算机、处理器或可编程硬件组件上被执行时,该程序代码用于执行本文描述的至少一种方法。另一示例是机器可读存储装置,其包括机器可读指令,该机器可读指令在被执行时实施本文描述的方法或实现本文描述的装置。另一示例是机器可读介质,其包括代码,该代码在被执行时使机器执行本文描述的任何方法。

[0063] 本文描述的示例可以总结如下:

[0064] 示例1是一种用于功率放大器的数字包络追踪器。数字包络追踪器包括:电源滤波器,被配置为对被供应给功率放大器的电源电压进行滤波;等级选择电路,被配置为基于输入数据流的瞬时功率来确定电源电压等级,基于所确定的电源电压等级调度一系列切换事件,并基于所调度的一系列切换事件生成等级选择信号;以及开关,被配置为基于等级选择信号将电源电压中的一者连接到电源滤波器。

[0065] 示例2是示例1的数字包络追踪器,其中,等级选择电路包括:主切换电路,被配置为基于所确定的电源电压等级来调度开关的主切换事件;次切换电路,被配置为基于所确定的电源电压等级在从主切换事件延迟的时间实例处调度开关的次切换事件;以及组合器,被配置为组合主切换事件和先前调度的次切换事件以生成等级选择信号。

[0066] 示例3是示例2的数字包络追踪器,其中,次切换电路被配置为在主切换事件之后的时间实例处调度次切换事件,以生成具有减小的峰化的电源滤波器的滤波器响应。

[0067] 示例4是示例2至3中任一个示例的数字包络追踪器,其中,次切换电路包括:第一移位寄存器,用于记录针对电源电压的提高了的次切换事件;以及第二移位寄存器,用于记录针对电源电压的降低的次切换事件。

[0068] 示例5是示例2至4中任一个示例的数字包络追踪器,其中,等级选择电路包括积分器,该积分器被配置为对组合器的至少两个输出进行积分以生成等级选择信号。

[0069] 示例6是示例1至5中任一个示例的数字包络追踪器,还包括:钳位装置,被配置为将电源滤波器的输出限制在预定的最大等级。

[0070] 示例7是示例2至6中任一个示例的数字包络追踪器,其中,次切换包括:在与主切换相反的方向上从主切换起的第一延迟时间处的第一个次切换,以及在与主切换相同的方

向上从第一个次切换起的第二延迟时间处的第二个次切换。

[0071] 示例8是示例7的数字包络追踪器,其中,第一延迟时间和第二延迟时间是基于电源滤波器的阶跃响应确定的。

[0072] 示例9是示例7至8中任一个示例的数字包络追踪器,包括峰值检测器,被配置为提供峰值测量信号,该峰值测量信号表示电源滤波器的阶跃响应的峰化量;以及校准电路,被配置为基于峰值测量信号在减小电源滤波器的阶跃响应的峰化的方向上调谐第一延迟时间和/或第二延迟时间。

[0073] 示例10是一种对电源电压进行数字包络追踪和控制的方法,其中,多个电源电压中的一个电源电压经由开关被供应给功率放大器。该方法包括:确定输入数据流的瞬时功率;基于输入数据流的瞬时功率确定电源电压等级;基于所确定的电源电压等级调度开关的一系列切换事件;基于所调度的一系列切换事件生成等级选择信号;以及基于该等级选择信号经由电源滤波器将多个电源电压中的一者供应给功率放大器。

[0074] 示例11是示例10的方法,其中,等级选择信号是通过以下方式生成的:基于所确定的电源电压等级来调度开关的主切换事件;基于所确定的电源电压等级,调度从主切换事件延迟的开关的次切换事件;以及组合主切换事件和先前调度的次切换事件,以生成用于开关的等级选择信号。

[0075] 示例12是示例11的方法,其中,在主切换事件之后的时间实例处调度次切换事件以生成具有减小的峰化的电源滤波器的滤波器响应。

[0076] 示例13是示例11至12中任一个示例的方法,其中,次切换包括:在与主切换相反的方向上从主切换起的第一延迟时间处的第一个次切换,以及在与主切换相同的方向上从第一个次切换起的第二延迟时间处的第二个次切换。

[0077] 示例14是示例13的方法,包括:确定电源滤波器的阶跃响应的峰化量;以及基于该峰化量在减小电源滤波器的阶跃响应的峰化的方向上调谐第一延迟时间和/或第二延迟时间。

[0078] 示例15是示例10至14中任一个示例的方法,其中,一系列切换事件被调度,以使得电源滤波器的第一阶跃响应与电源滤波器的第二和第三阶跃响应相组合,从而使阶跃响应组合的稳态值等于第一阶跃响应的稳态值并且使阶跃响应组合的峰化小于第一阶跃响应的峰化。

[0079] 示例16是一种具有用于执行示例10-15中的至少一种方法的程序代码的计算机程序。

[0080] 示例17是一种机器可读存储装置,其包括机器可读指令,该机器可读指令在被执行时实施示例1至15中任何一个示例的方法或实现示例1至15中任何一个示例的装置。

[0081] 示例18是一种机器可读介质,其包括代码,该代码在被执行时使机器执行示例10至15中的任何一种方法。

[0082] 所提及和描述的方面和特征以及一个或多个先前详细描述的例子和附图也可以与一个或多个其他例子组合,以替换另一例子的相似特征或为了额外地引入另一例子的特征。

[0083] 当计算机程序在计算机或处理器上执行时,示例还可以是或涉及具有用于执行一种或多种上述方法的程序代码的计算机程序。各种上述方法的步骤、操作或过程可以由编

程的计算机或处理器执行。示例还可以涵盖程序存储设备(诸如数字数据存储介质),这类设备是机器、处理器或计算机可读的,并且可以对指令的机器可执行程序、处理器可执行程序或计算机可执行程序进行编码。指令执行或促使执行上述方法的一些或全部动作。程序存储设备可以包括或者可以是例如数字存储器、诸如磁盘和磁带之类的磁存储介质、硬盘驱动器或光学可读数字数据存储介质。其他示例还可以涵盖被编程为执行上述方法的动作的计算机、处理器或控制单元,或被编程为执行上述方法的动作的(现场)可编程逻辑阵列(F)PLA)或(现场)可编程门阵列(F)PGA)。

[0084] 说明书和附图仅图示了本公开的原理。此外,本文中列举的所有示例原则上明确地旨在仅用于教学目的,以帮助读者理解本公开的原理和(一个或多个)发明人为进一步发展本领域所贡献的概念。本文中引用本公开的原理、方面和示例以及其特定示例的所有陈述旨在囊括其等同形式。

[0085] 被表示为执行特定功能的“用于……的装置”的功能块可以指被配置为执行特定功能的电路。因此,“用于……的装置”可以被实现为“被配置为或适于……的装置”,诸如被配置为或适于相应任务的设备或电路。

[0086] 附图中所示的各种元件(包括标记为“装置”、“用于提供传感器信号的装置”、“用于生成发送信号的装置”等)的功能可以以专用硬件(诸如“信号提供者”、“信号处理单元”、“处理器”、“控制器”等)以及能够与适当的软件相关联地执行软件的硬件的形式实现。当由处理器提供时,功能可以由单个专用处理器、由单个共享处理器、或者由多个单独处理器来提供,可以共享其中一些或所有处理器。然而,术语“处理器”或“控制器”到目前为止不仅限于专门能够执行软件的硬件,还可以包括数字信号处理器(DSP)硬件、网络处理器、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)、用于存储软件的只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)和非易失性存储器。还可以包括常规和/或定制的其他硬件。

[0087] 框图例如可以图示实现本公开原理的高级电路图。类似地,流程图、流程示意图、状态过渡图、伪代码等可以表示各种过程、操作或步骤,它们例如可以基本上在计算机可读介质中表示并且因此由计算机或处理器执行,无论是否明确示出此类计算机或处理器。说明书或权利要求书中公开的方法可以由具有用于执行这些方法的各个相应动作的装置的设备来实现。

[0088] 应当理解,说明书或权利要求书中公开的多个动作、过程、操作、步骤或功能的公开可以不被解释为在特定顺序内,除非出于技术原因而明确地或隐含地指出要在特定顺序内。因此,对多个动作或功能的公开不会将它们局限于特定的顺序,除非由于技术原因这些动作或功能不可互换。此外,在一些示例中,单个动作、功能、过程、操作或步骤可以分别包括或可以分为多个子动作、子功能、子过程、子操作或子步骤。除非明确排除,否则此类子动作可以包括在内,并且是该单个动作的公开内容的一部分。

[0089] 此外,以下权利要求书据此被结合到具体实施方式中,其中每个权利要求可以独立地作为单独的示例。尽管每个权利要求可以独立地作为单独的示例,但应注意的是,尽管从属权利要求在权利要求书中可以指与一个或多个其他权利要求的特定组合,但其他示例也可以包括从属权利要求与每个其他独立或从属权利要求的主题的组合。除非指出不意指特定的组合,否则本文明确提出了这样的组合。此外,意图是将权利要求的特征也包括到任何其他独立权利要求中,即使该权利要求没有直接依赖于独立权利要求。

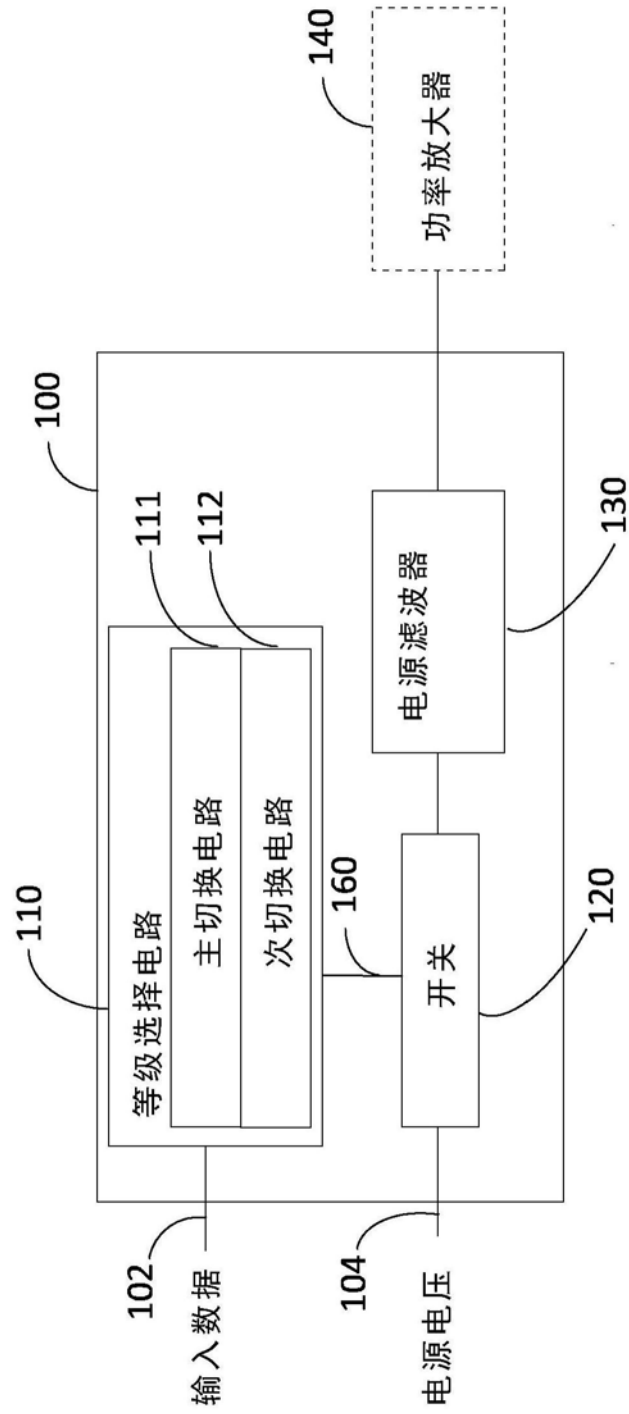


图1

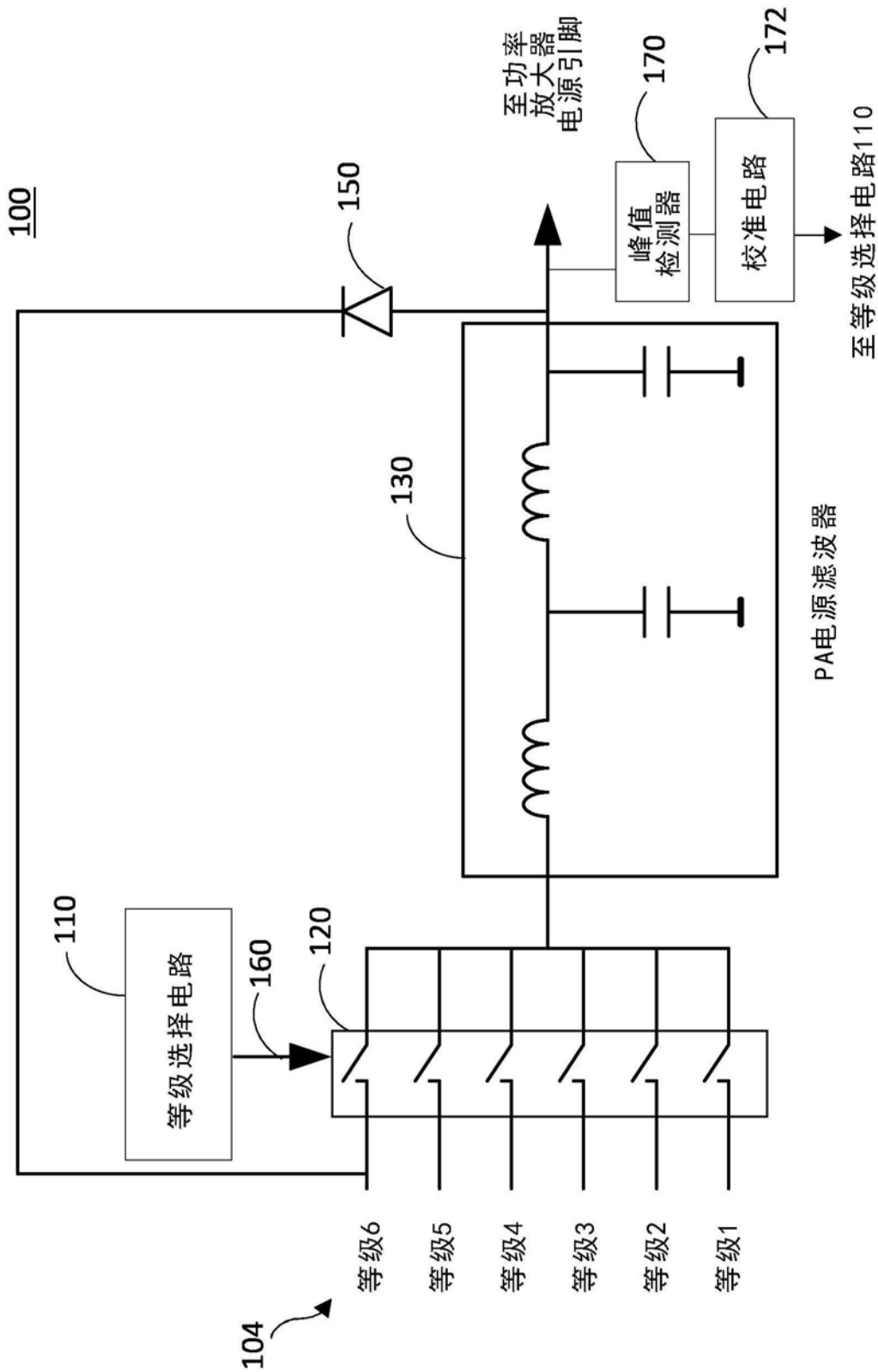


图2

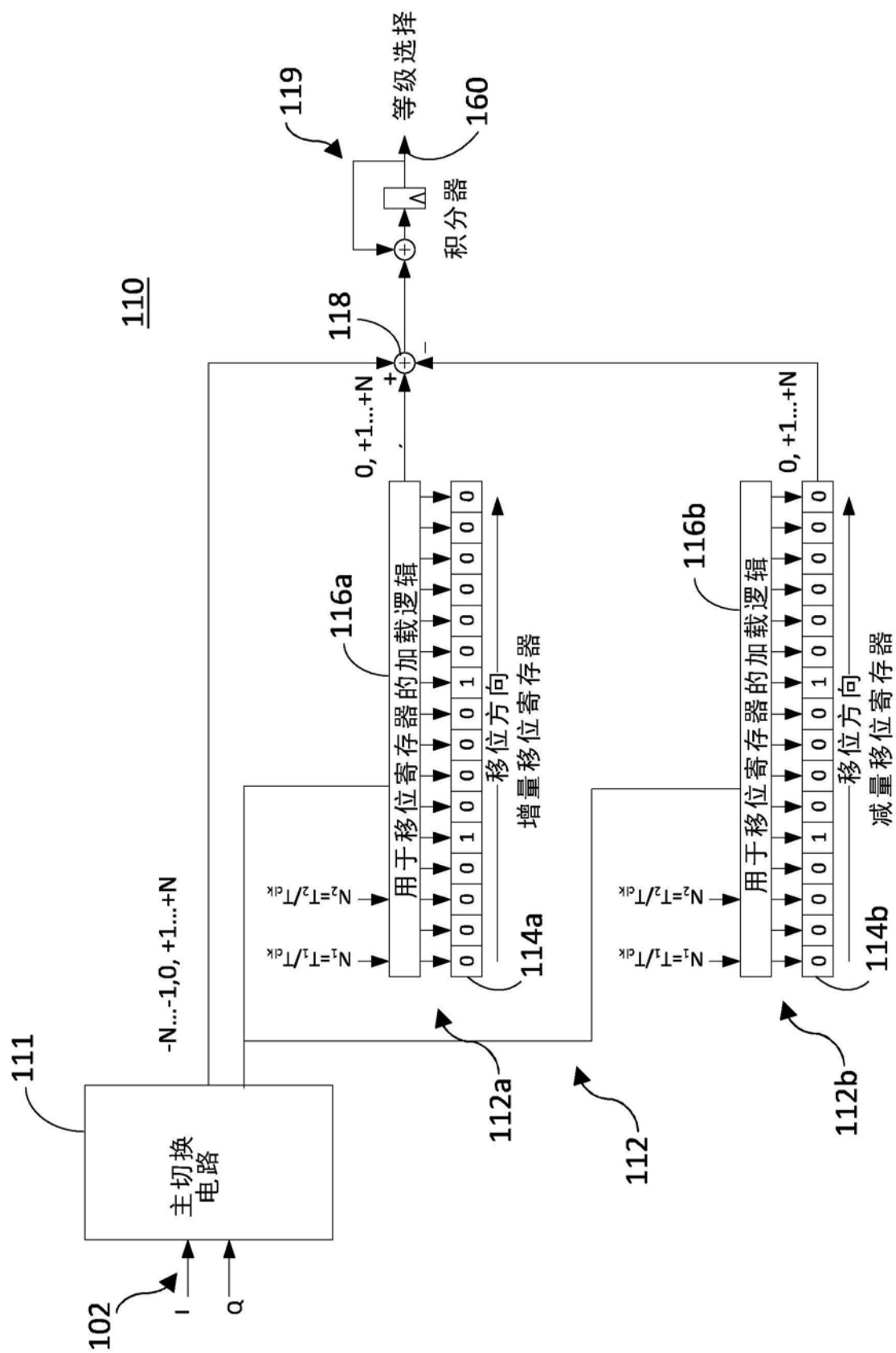


图3

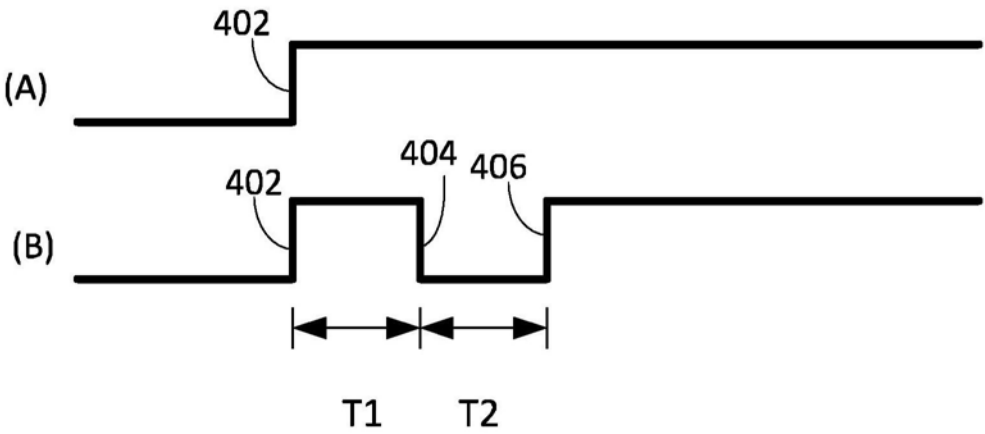


图4



图5A

第一主切换事件和次切换事件

第二主切换事件和次切换事件

重叠结果

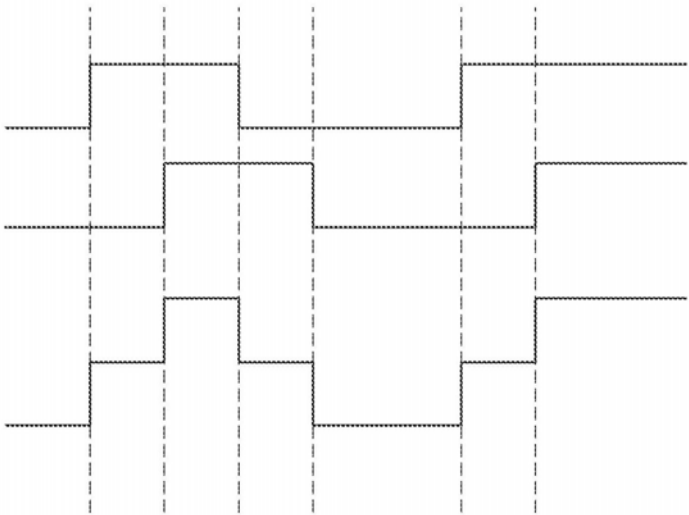


图5B

第一主切换事件和次切换事件

第二主切换事件和次切换事件

重叠结果

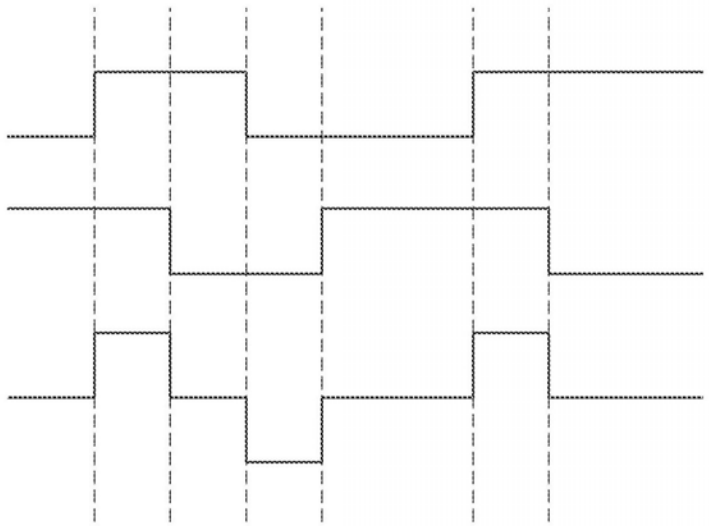


图5C

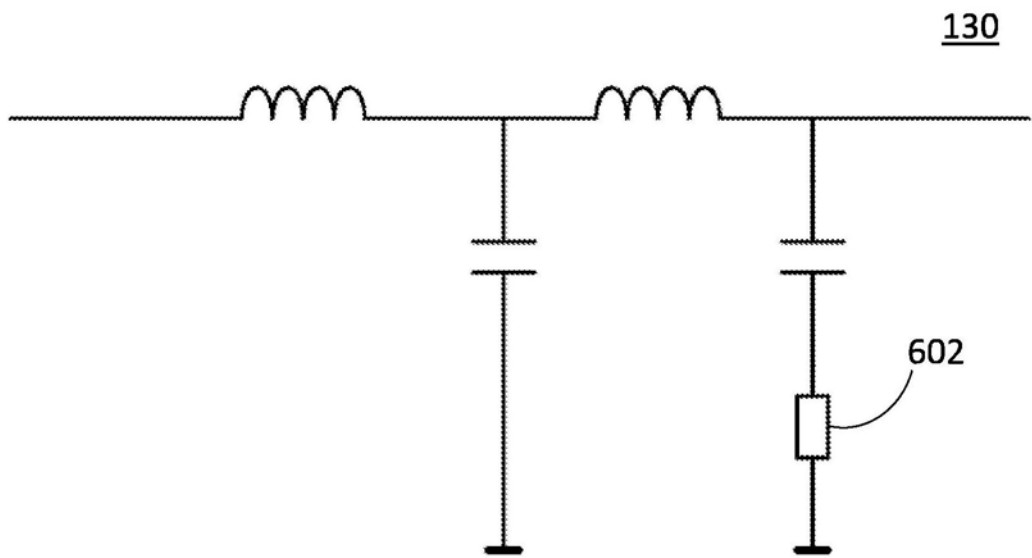


图6

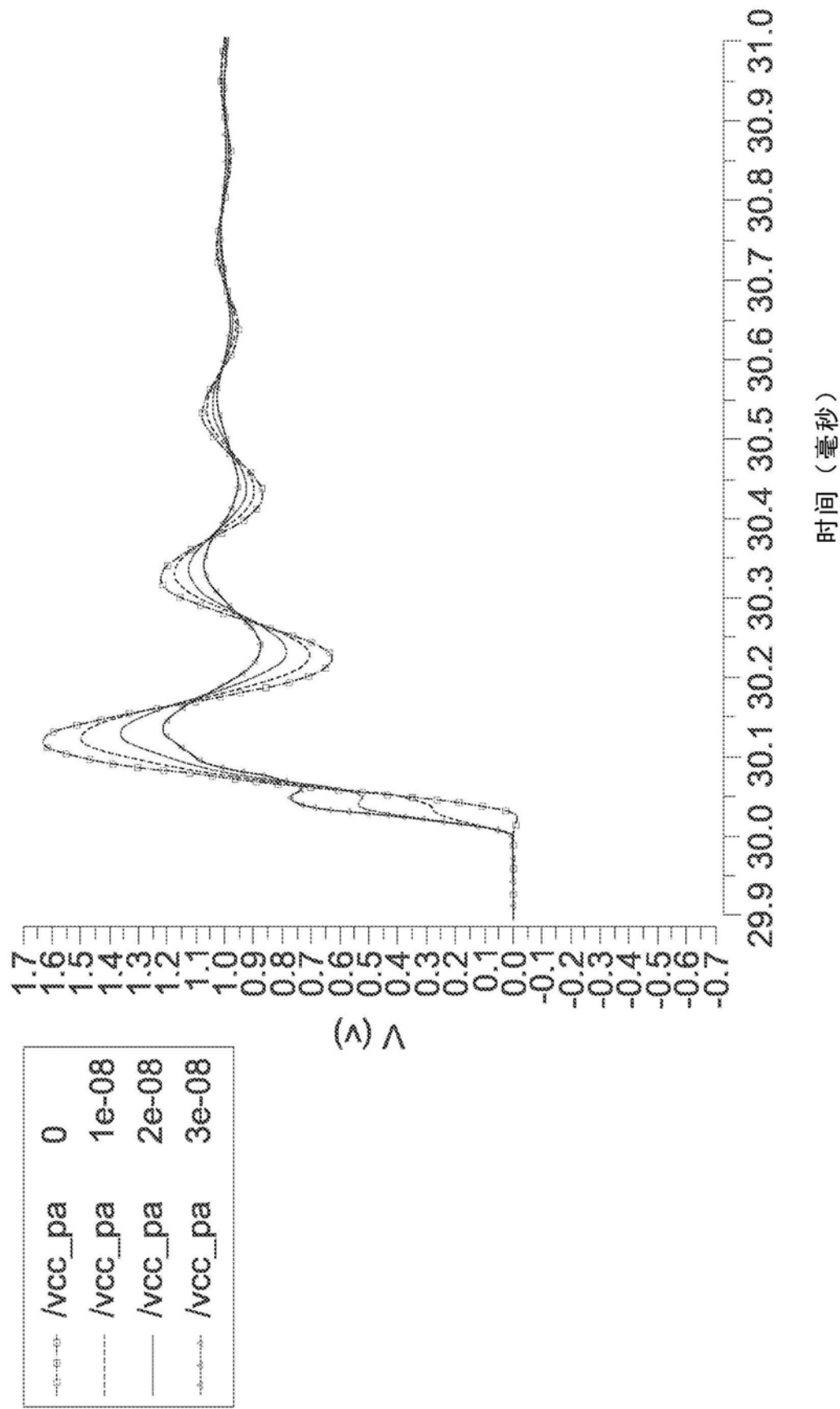


图7a

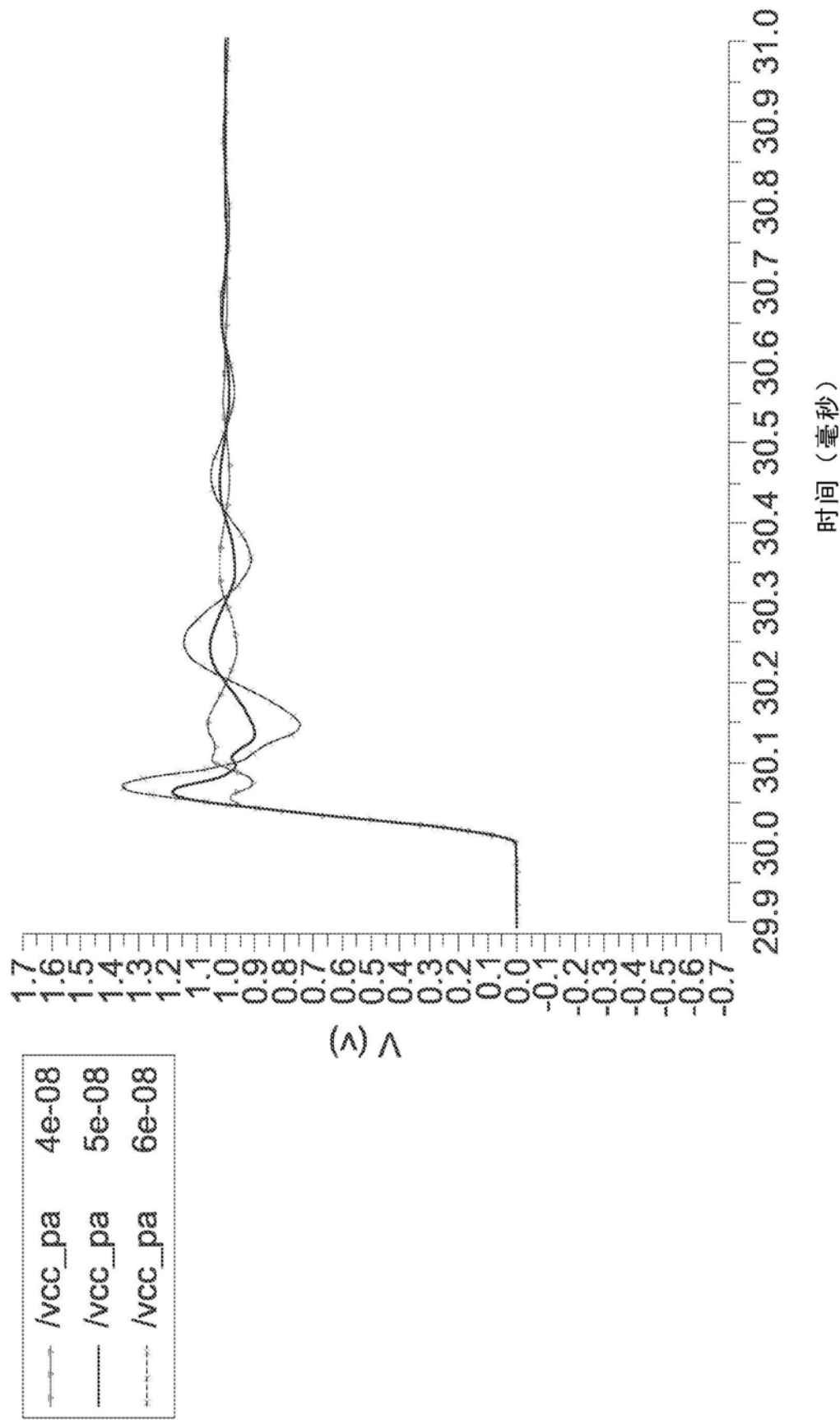


图7b

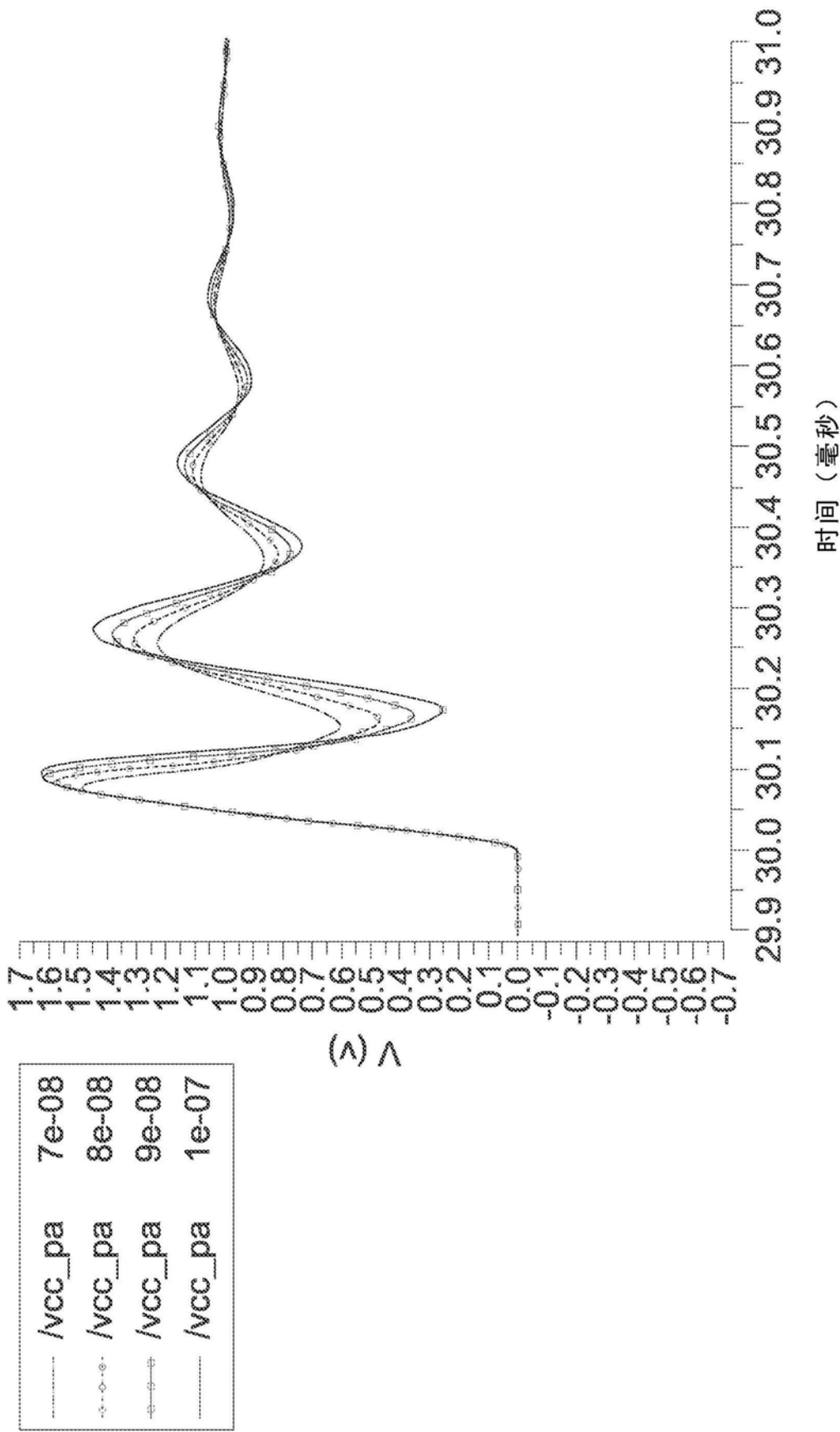


图7c

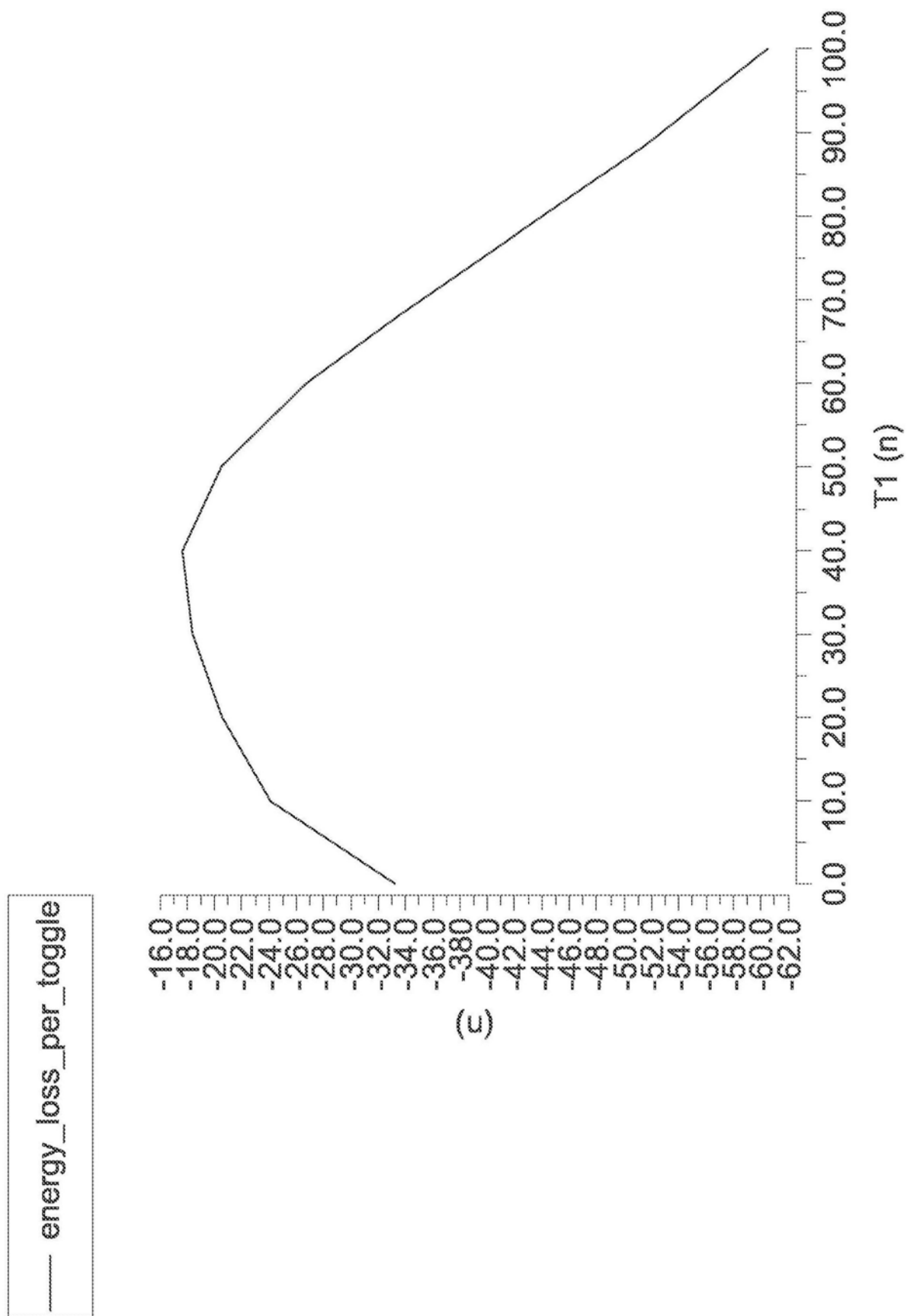


图8

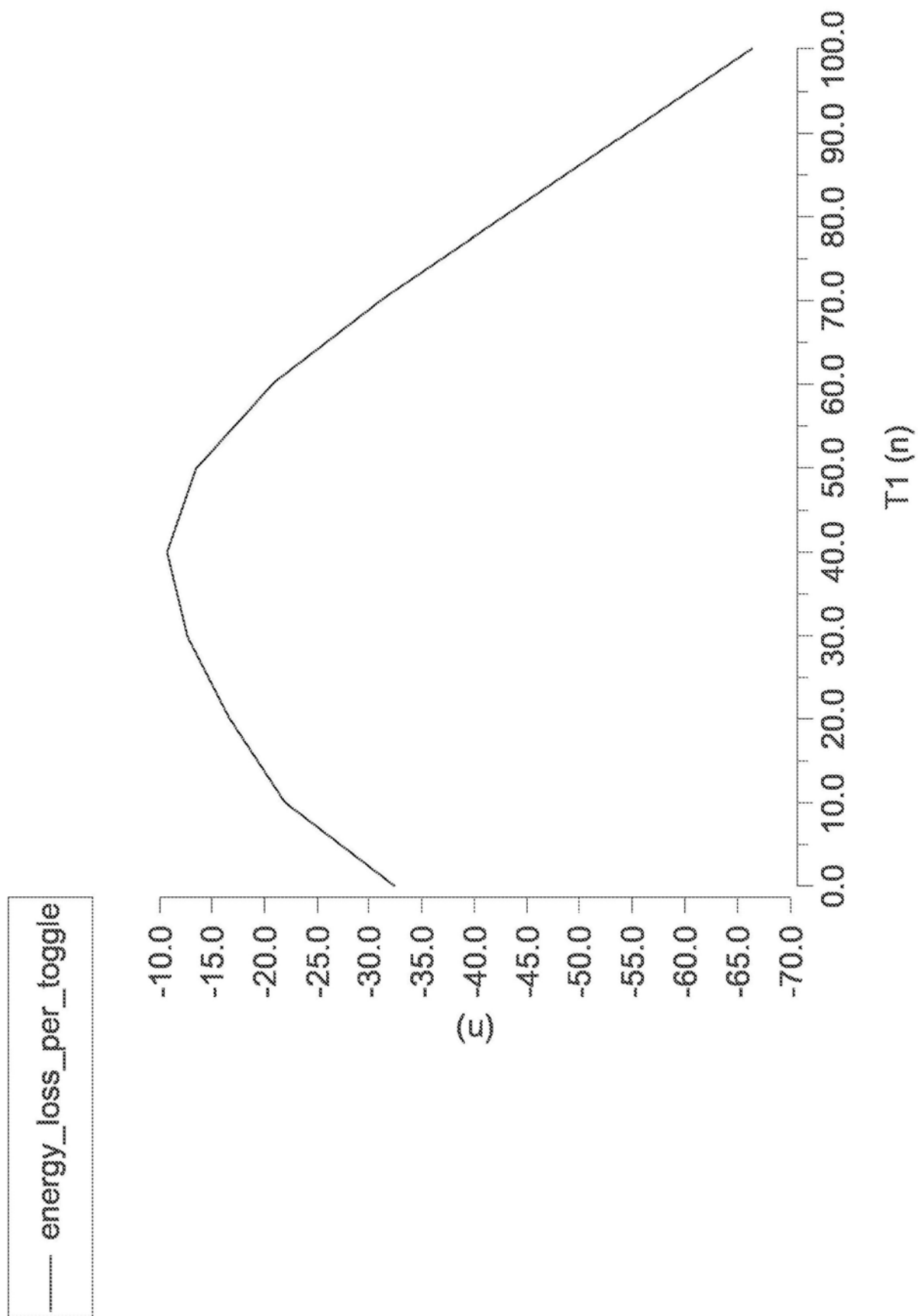


图9

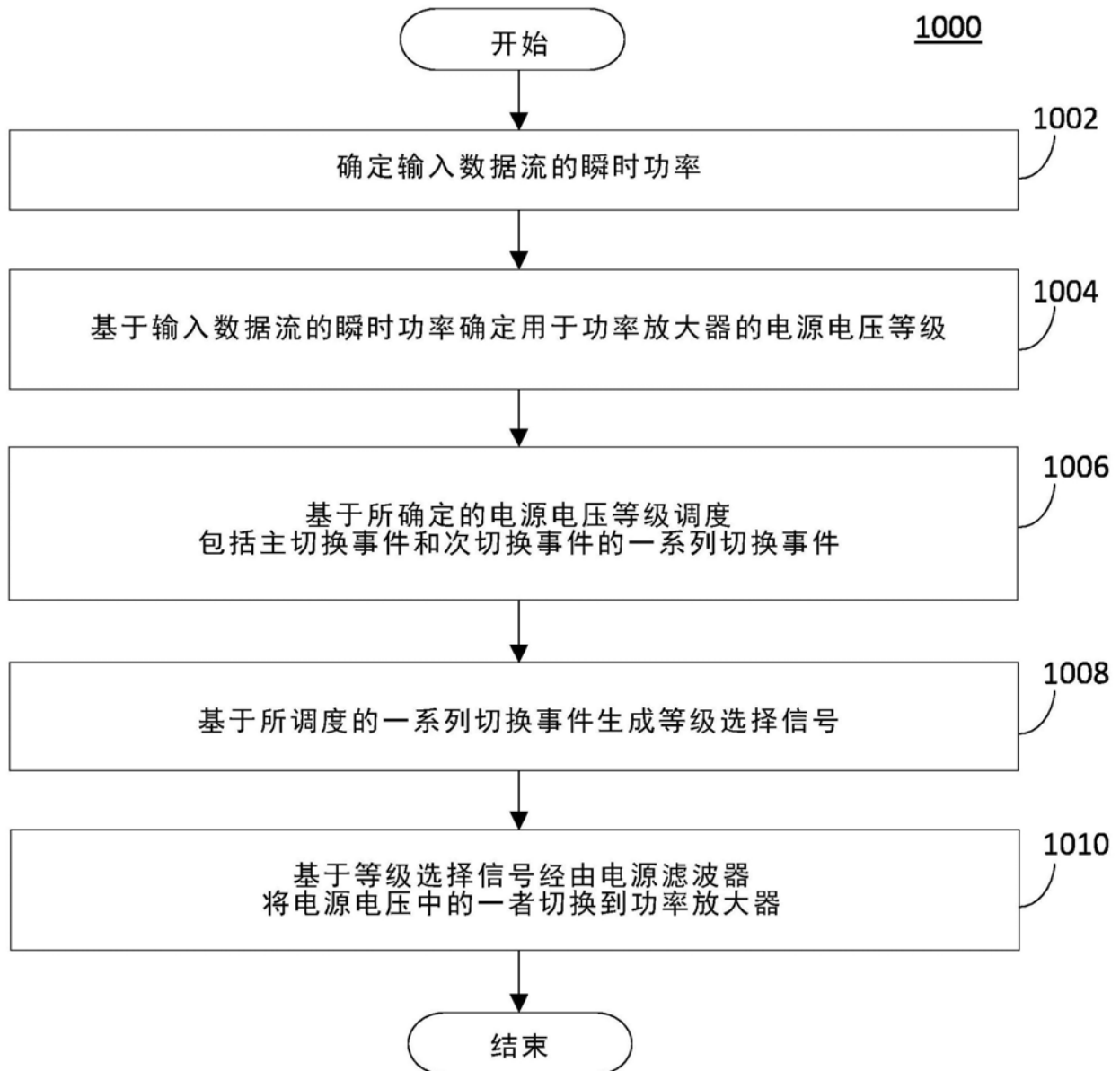


图10

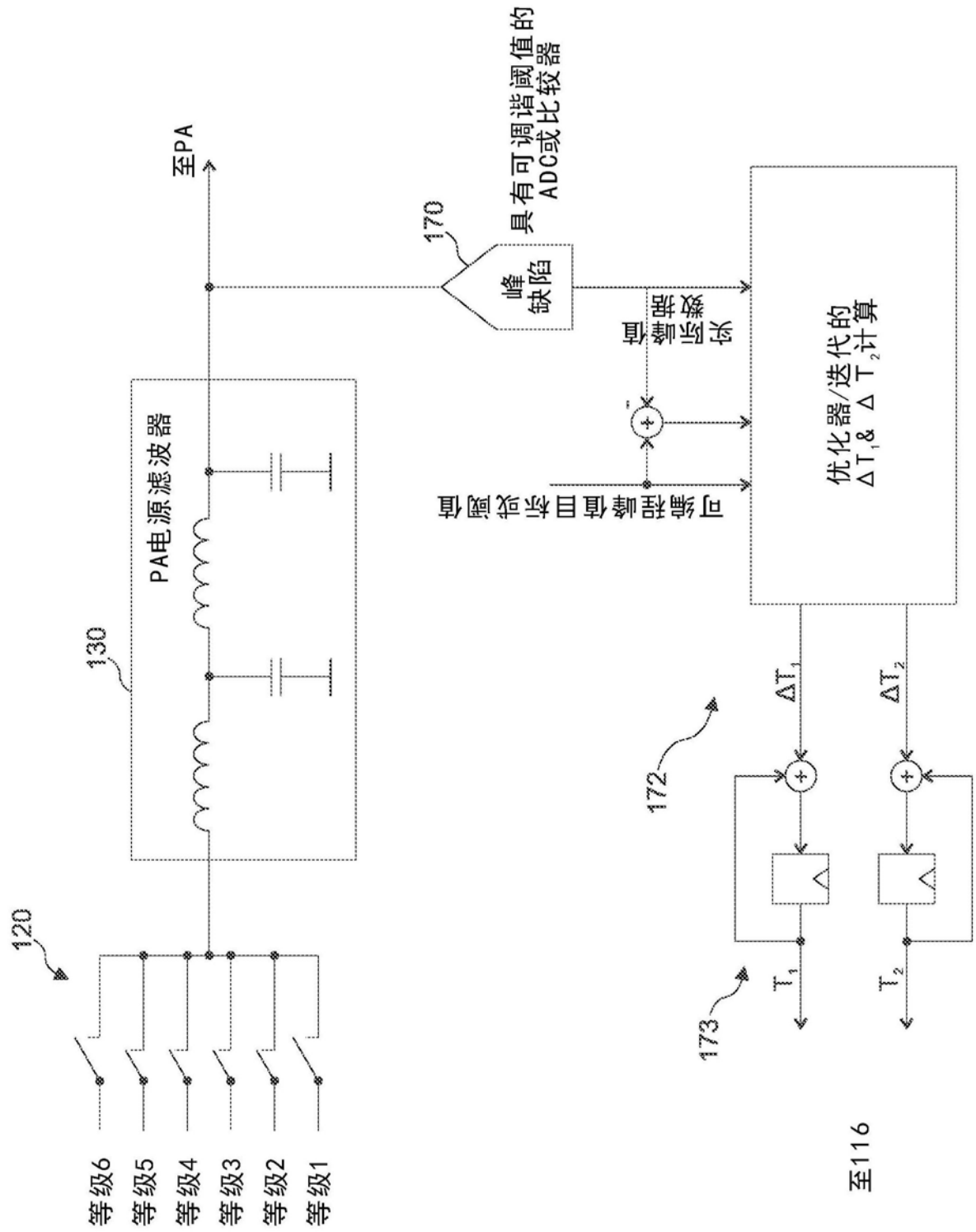


图11