

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01137257.5

H02M 7/00 (2006.01)

H02M 7/12 (2006.01)

H02M 7/145 (2006.01)

H02M 7/162 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007 年 1 月 31 日

[11] 授权公告号 CN 1298099C

[22] 申请日 2001.11.1 [21] 申请号 01137257.5

[30] 优先权

[32] 2000.11.1 [33] US [31] 09/702642

[73] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 L·J·加西斯 V·约翰

P·C·桑扎 P·M·苏扎斯尼

审查员 周 青

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王 岳 张志醒

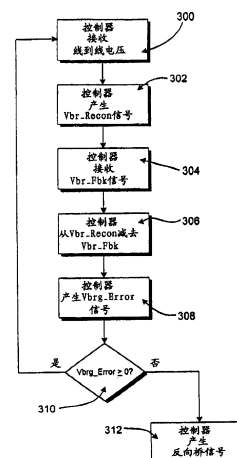
权利要求书 5 页 说明书 10 页 附图 5 页

[54] 发明名称

线路换向转换器中零电流电平的检测方法与系统

[57] 摘要

一种用于确定可逆功率转换器中零电流电平出现的方法和系统，采用该方法和系统不需要额外的部件复杂性和成本。数字控制器有选择地对刚刚被触发的晶闸管对(300)确定线到线电压。选定的线到线电压被确认为桥重构电压(302)并且与用于导通的电桥(306)的实际桥输出电压进行比较。两个电压信号之差被确认为桥误差电压，且该值的符号指示负载电流零电流电平的出现(308, 310)。当桥误差电压落到零以下(312)，则出现零电流电平。该指示是确实和基本上是瞬时的，它能安全地使功率流反向而不会发生交叉桥短路引起的线故障。



1. 一种用于在功率转换器中检测零电流电平出现的方法，所述功率转换器具有至少两个晶闸管桥（202，204），用于在电源与负载之间进行功率流反向，该方法包括以下步骤：

接收多个线到线电压信号，每一相输入信号具有一个线到线电压（300）；

根据从上述多个线到线电压信号中选出的一个线到线电压信号生成一个重构桥电压信号（302）；

接收代表实际测得的桥电压的实际桥电压信号（304）；

将所述重构桥电压信号与所述实际桥电压信号进行比较（306）；

根据所述比较生成桥电压误差信号（308）；

确定所述桥电压误差信号的符号（310）；以及

如果所述桥电压误差信号的符号与预设的符号相符合，则生成零电流电平出现信号（312）。

2. 如权利要求1的方法，还包括步骤：从电流传感器接收负载电流信号，该负载电流信号通常指示转换器中负载电流的值。

3. 如权利要求2的方法，还包括步骤：当所述负载电流信号落入预设电流范围内时，生成一个零电流范围内信号。

4. 如权利要求3的方法，还包括步骤：

接收一个反向电桥命令以使电源与负载之间的功率流方向反向；
以及

仅根据接收到的所述零电流电平出现信号以及所述零电流范围内信号而使所述功率流方向反向。

5. 如权利要求3的方法，还包括步骤：

确定所述桥电压误差信号的幅度；

将所述确定的幅度与预设的幅度相比较；以及

如果所述确定的幅度符合或者超出所述预设幅度，则生成一个充分幅度信号。

6. 如权利要求5的方法，还包括步骤：

接收一个反向电桥命令以使电源与负载之间功率流的方向反向；
以及

仅根据接收到的所述零电流电平出现信号、所述零电流范围内信

号以及所述充分幅度信号来使所述功率流的方向反向。

7. 如权利要求 5 的方法，还包括步骤：以预设的采样速率测量每个线到线电压信号、所述实际桥电压信号以及所述负载电流信号。

8. 如权利要求 7 的方法，还包括步骤：

接收一个反向电桥命令以使电源与负载间的功率流方向反向；以及

仅根据接收到的至少两个连续采样中的每个所述零电流电平出现信号、所述零电流范围内信号，以及所述充分幅度信号而使所述功率流方向反向。

9. 如权利要求 1 的方法，其中根据所选定的所述多个线到线电压信号（302）之一来生成一个重构的桥电压信号的步骤还包括步骤：

接收用于包含在至少两个晶闸管桥（202，204）中多个晶闸管的每一个晶闸管的多个门信号，其中所述门信号包括高位门信号和低位门信号，且其中所述晶闸管桥的每一个晶闸管桥中的所述多个晶闸管与每一个相邻的晶闸管耦合以形成多个晶闸管对；

基于通过所述多个晶闸管对的导通电流的相位，将特定的线到线电压信号与所述多个晶闸管对的每一个晶闸管对相关；

基于所述接收到的门信号，确定导通的晶闸管对；以及

与所述导通晶闸管对相关联的特定的线到线电压信号被确认为重构的桥电压信号。

10. 如权利要求 9 的方法，还包括步骤：

接收进入多个与门（402 - 412，426 - 436）的所述门信号，其中，所述多个与门的每一个与门都与一特定的晶闸管对相关联；

从所述多个与门（402 - 412，426 - 436）中的每一个与门输出一个逻辑状态信号给多个关联的逻辑开关（414 - 424，438 - 448）；

接收进入所述多个逻辑开关（414 - 424，438 - 448）的与所述特定的晶闸管对相关联的所述线到线电压信号；

只有当来自与晶闸管对相关联的两个所述晶闸管的高位门电流信号都被接收时，才从所述多个与门（402 - 412，426 - 436）中的一个与门生成高位逻辑状态信号，从而指示该导通的晶闸管对；以及

根据接收到的高位逻辑状态信号，从所述关联的逻辑开关（414 - 424，438 - 448）输出一个代表与导通的晶闸管对相关联的该特定线到

线电压信号的信号。

11. 一种用于控制电源与负载间功率流的功率转换器，包括至少两个晶闸管电桥（202，204）和一个用于使电源与负载间功率流方向反向的控制器（206），其中控制器（206）包括：

用于接收多个线到线电压信号的多个输入，一个输入用于每一相输入信号（300）；

逻辑装置（400），其根据选定的所述多个线到线电压信号中的一个产生一个重构的桥电压信号（302）；

一个用于接收代表实际测得的桥电压的实际桥电压信号的输入（304）；

将所述重构的桥电压信号与所述实际桥电压信号相比较的处理装置（306）；

根据所述比较产生桥电压误差信号的处理装置（308）；

用于确定所述桥电压误差信号符号的处理装置（310）；以及

用于当所述桥电压误差信号的符号与预设的符号相符合时产生零电流电平出现信号的处理装置（312）。

12. 如权利要求 11 的功率转换器，其中控制器还包括一个输入，它用于接收来自一个电流传感器的一个负载电流信号，其中该负载电流信号通常指明转换器中负载电流的值。

13. 如权利要求 12 的功率转换器，其中控制器还包括当所述负载电流信号落入预设电流范围内时用于产生零电流范围内信号的处理装置。

14. 如权利要求 13 的功率转换器，其中控制器还包括：

一个用于接收反向电桥命令以使电源与负载间功率流方向反向的输入；以及

用于只有当接收到所述零电流电平出现信号以及所述零电流范围内信号时才将所述功率流方向反向的处理装置。

15. 如权利要求 13 的功率转换器，其中控制器还包括：

确定所述桥电压误差信号幅度的处理装置；

将所述确定的幅度与预设幅度进行比较的处理装置；以及

用于在所述确定的幅度达到或者超出所述预设幅度时产生一个充分幅度信号的处理装置。

16. 如权利要求 15 的功率转换器, 其中控制器还包括:

一个用于接收一个反向桥命令以使电源与负载间的功率流方向反向的输入; 以及

用于只有当接收到所述零电流电平出现信号、所述零电流范围内信号、所述充分幅度信号时才使所述功率流方向反向的处理装置。

17. 如权利要求 15 的功率转换器, 其中控制器还包括处理装置, 用于以预设的采样速率测量所述多个线到线电压信号的每一个线到线电压信号、所述实际桥电压信号、所述负载电流信号。

18. 如权利要求 17 的功率转换器, 其中控制器还包括:

一个用于接收反向电桥命令以使电源与负载间功率流方向反向的输入; 以及

用于只有在接收到至少两次连接的采样中的每个所述零电流电平出现信号、所述零电流范围内信号、所述充分幅度信号时才使所述功率流方向反向的处理装置。

19. 如权利要求 11 的功率转换器, 其中所述处理装置根据所述多个线到线电压信号中选定的一个线到线电压信号 (302) 来产生重构的桥电压信号, 所述处理装置还包括:

处理装置, 用于接收包含于所述至少两个晶闸管桥中的多个晶闸管的每一个晶闸管的多个门信号, 其中所述多个门信号包括高位门信号和低位门信号, 且其中所述晶闸管桥的每个晶闸管桥中的所述多个晶闸管与每个相邻晶闸管耦合以形成多个晶闸管对;

用于根据通过所述多个晶闸管对的每一个晶闸管对的导通电流的相位, 将特定的线到线电压信号与所述多个晶闸管对的每一个晶闸管对相关联的处理装置;

用于根据所述接收的门信号确定导通的晶闸管对的处理装置; 以及

用于将与所述导通的晶闸管对相关联的特定线到线电压信号确认为重构的桥电压信号的处理装置。

20. 如权利要求 19 的功率转换器, 其中控制器还包括:

用于接收所述门信号的多个与门 (402-412, 426-436), 其中所述多个与门 (402-412, 426-436) 中的每一个与门都与一个特定的晶闸管关联; 以及

多个相关联的逻辑开关（414-418, 438-448），用于接收从所述多个与门（402-412, 426-436）的每一个与门输出的逻辑状态信号，

其中，所述多个逻辑开关（414-424, 438-448）接收与所述特定的晶闸管对相关联的所述线到线电压信号，

其中，只有当从相关联晶闸管对的所述两个晶闸管中都接收到高位门信号时，才从所述多个与门（402-412, 426-436）中的一个与门生成高位逻辑状态信号，从而指明导通的晶闸管对，以及

其中，一旦接收到高位逻辑状态信号，所述多个逻辑开关（414-424, 438-448）的每一个逻辑开关输出一个代表与导通的晶闸管对相关联的特定线到线电压信号的信号。

线路换向转换器中零电流电平的检测方法与系统

技术领域

本发明一般涉及用于控制与调节由交流电源传送至负载的功率转换的装置和系统，典型地负载通常指直流马达。更具体地，本发明涉及控制可控的整流器，例如置于电源与马达之间的晶闸管，电桥的导通以及用于监视该装置的方法，以防止电桥中的整流器非正常触发引起的线间故障。

背景技术

上述类型的马达控制系统典型地包含至少一个连接马达线圈至交流电源线的整流器电桥。在常规三相马达中，各交流相导线与马达的耦合通常是通过连接的一对晶闸管来实现。也就是说三相马达要用六个晶闸管传送电源功率至负载。对每一相来说，一只晶闸管担负一半的传送任务。晶闸管如可控硅整流器（SCR）的一般定义是：由门元件控制的开关二极管。各整流器对电流施加一个相对高的阻塞阻抗。当门元件受到外加触发电流正偏时，被阻塞的电流才能够通过。通常由数字控制电路来确定在电源线电压的各个半周期内触发晶闸管的合适的时间。一旦晶闸管被加在晶闸管门上的预设电流触发，就会降低正向阻塞阻抗，使电流以通过二极管方式的晶闸管。一旦晶闸管实现导通，它就将一直处于导通状态直到流经的电流降低为零（即：实施零跨越）。当负载电流降低为零时，出现上述情况。通过改变各晶闸管的导通时间可调节马达接收的功率。改变导通时间可以由控制各晶闸管触发角来实现。触发角是指交流波形中晶闸管开始导通的点。从一个晶闸管到另一个晶闸管之间的切换过程被称为换向。

在可逆系统或再生系统，就是交替地既可以从电源接受电能也可以向电源发送电能的系统中，典型地采用背靠背晶闸管电桥，每个电桥有多个连接阴极与阳极以及连接阳极与阴极的背靠背晶闸管对。在上述系统中必须准确确定负载电流是否为零的状态，以便控制从正向到反向偏置模式的切换。如果无法准确确定负载电流是否为零，则有可能出现以下情况：在电桥中一只晶闸管导通而此刻恰好反向电桥中的某一只晶闸管也导通，导致电路两条交流导线之间短路，这种故障

有可能损坏甚至严重毁坏每个导通的晶闸管。并且如果无法准确确定负载的零电流电平，会在电流反向时出现不连续，导致转矩脉动。

如上所述，通过确定负载的零电流电平就可以确定晶闸管的断开点。并且，因为无法准确测量零电流电平，可能会产生不良影响，所以应当尽快完成零电流电平的测量。常规情况下，测量零电流电平要么是采用交流互感器对至少两条线电流进行测量或者采用直流传感器直接测量负载电流来实现，例如：三菱公司专利，其美国专利号为：4567408。不幸的是：许多采用这种控制功率装置系统的电流/扭矩范围都非常宽，即：电流可以从1000安培的高端变化至0.02安培的低端。而且，普通传感器一般生成的信号为模拟信号，为了能够将测量值输入到数字控制器中，必须要进行数字/模拟转换，而在数/模转换过程中通常会出错和产生时间延迟。另外，由于受到常规电流传感器成本的限制，其产品质量很可能会抑制零电流电平的测量精度。由于电流变化范围宽、数模转换错误以及传感器质量等因素的影响，很难100%确定零电流电平。常规控制器通常会给出一个接近零电流电平值的零电流电平带宽（即：值的范围）。

除了上面所述问题以及测量的不精确性外，负载电感的大小也会对电流衰减产生影响，形成很长的尾巴。这样将增加测量实际负载电流降低为零过程的时间，从而延迟反向电桥的开始时间。上述诸多限制因素的综合影响会降低系统可获得的最大带宽，另外也会增大两个电桥的短路风险，这里所说的电桥短路发生在电流反向并且同时第一电桥还处于导通状态的时刻。

Miller 专利，其美国专利号为：5115387 公布了一种利用额外电压传感装置而不是常规电流传感装置来测量晶闸管导通的方法。其中额外电压传感装置工作于确定跨在晶闸管的正向偏压是否超出预设的阈值电压。如果超出预设的偏压阈值，则认为此时晶闸管导通而且所有反向电桥上的晶闸管处于不能被触发的状态。与该方法相类似，Kelley Jr. 专利，其美国专利号为：3654541 公开了另一种确定晶闸管导通的方法。其中的电压检测装置工作于确定跨晶闸管的电压的瞬时幅度是否超出预设的阈值水平，该阈值水平高于晶闸管导通时两端的电压降。如果跨在晶闸管的电压幅度超出预设的电压阈值，则会发出信号指示晶闸管没有导通。

解决上述问题的其它现有技术尝试包括：在系统中增加高增益传感器，这些传感器仅用于确定负载零电流电平。另外，其他的尝试包括利用高频电流确定各电桥上跨在各个晶闸管上的电压，从而可精确地确定什么时候电桥通过检测增加的电流的归零而停止导通。不幸的是，上述的两种方法都需要额外在系统中增加硬件，从而提高了成本和增加了系统的复杂性。

所以，有必要在功率控制系统建立一套测量系统和方法来实现负载零电流电平的精确与快速测量，使得在不增加系统成本和复杂性的条件下降低交叉电桥故障的发生几率。

发明内容

本发明不仅解决了上述问题而且还具备另外的优点，本发明所提供的解决方法和系统可以确定可逆功率转换器的零电流电平，同时也不会增加部件的成本和复杂性。数字控制器有选择地确定大多数刚触发的晶闸管对的线到线电压。该线到线电压被确认为电桥重构电压并且将它与导通电桥的实际桥输出电压相比较。两个电压之差是桥误差电压，其幅度差的符号是负载零电流电平出现的指示。当桥误差电压落到零以下时出现零电流电平。这一指示是确实和是瞬时的，它使功率流能够安全地反向而不会发生交叉短路所导致的线故障。

本发明提供一种用于在功率转换器中检测零电流电平出现的方法，所述功率转换器具有至少两个晶闸管桥，用于在电源与负载之间进行功率流反向，该方法包括以下步骤：

接收多个线到线电压信号，每一相输入信号具有一个线到线电压；

根据从上述多个线到线电压信号中选出的一个线到线电压信号生成一个重构桥电压信号；

接收代表实际测得的桥电压的实际桥电压信号；

将所述重构桥电压信号与所述实际桥电压信号进行比较；

根据所述比较生成桥电压误差信号；

确定所述桥电压误差信号的符号；以及

如果所述桥电压误差信号的符号与预设的符号相符合，则生成零电流电平出现信号。

本发明还提供一种用于控制电源与负载间功率流的功率转换器，

包括至少两个晶闸管电桥和一个用于使电源与负载间功率流方向反向的控制器，其中控制器包括：

用于接收多个线到线电压信号的多个输入，一个输入用于每一相输入信号；

逻辑装置，其根据选定的所述多个线到线电压信号中的一个产生一个重构的桥电压信号；

一个用于接收代表实际测得的桥电压的实际桥电压信号的输入；

将所述重构的桥电压信号与所述实际桥电压信号相比较的处理装置；

根据所述比较产生桥电压误差信号的处理装置；

用于确定所述桥电压误差信号符号的处理装置；以及

用于当所述桥电压误差信号的符号与预设的符号相符合时产生零电流电平出现信号的处理装置。

附图说明

通过阅读对以下实施方案举例的详细描述以及相关附图可以对本发明有更加完整的了解。对各附图的说明列举如下：

图 1 是采用现有常规技术的保护电路方框图，该电路采用了负载电流检测；

图 2 是功率转换器方框图，该转换器结合了本发明的零电流电平检测系统；

图 3 是本发明的确定零电流电平方法流程图；

图 4 是用于确定 V_{br_recon} 信号和生成相关的 V_{brg_error} 信号的方法的一个实施方案逻辑示意图

图 5 描述两个不同零电流电平发生的桥误差电压与时间的代表性曲线。

具体实施方式

请参看附图，图 1 给出了采用现有技术的保护系统实例，系统的总标号为 100。如上所述，两个晶闸管 102 和 104 以背靠背方式连接用以控制发送至负载 106 和从负载 106 发出的能量流。桥 102 和 104 中的晶闸管的门由触发脉冲触发，该触发脉冲是由来自两个触发脉冲发生器 108 和 110 的命令启动的。108 和 110 触发脉冲发生器依次从桥反向逻辑电路 112 接受相位命令。电流传感器 114 被耦合于晶闸管

电桥(102和104)与负载106之间,向电流变换器116发出指示负载电流的信号。然后,该电流变换器116通过零电流范围检测器118,检测器118用来确定测量的电流是否处于预设的零电流范围内。零电流范围检测器118接着又与反向延迟电路120耦合,延迟电路120向桥反向逻辑电路112发送指示负载电流零状态的允许反向(PERMIT REVERSAL)信号。

在运行过程中,桥反向逻辑电路112要么选择控制电桥102控制的触发脉冲发生器110的相位命令,要么选择控制电桥B控制的触发脉冲发生器108的相位命令。如果桥反向逻辑电路112发出反向请求,该反向将被延迟,直到负载电流变换器116、零电流范围检测器118、反向延迟电路120共同确定和指示负载电流处于零范围限定的范围内。此时,反向延迟电路120发出允许反向(PERMIT REVERSAL)信号,该信号被传送到桥反向逻辑电路112并发生电桥反向。

如上所述,图1给出的采用现有技术系统存在明显的缺点,即:电流传感器114并不是一个完美的器件。对高性能驱动而言,控制从一个电桥传到另一个电桥之前,供给负载106的峰值电流可能会超过1000安培,该电流强度必须降低到0.1安培以下以防止出现电路短路造成损坏。如果电流强度大于0.1安培的电流出现,则有可能发生线到线故障损坏电桥102和104上的晶闸管。因此,为了能有效运行图1所示的系统,负责处理电流传感器114输出的电流变换器116必须精确地将其零点维持在10000:1的分辨率范围以保证处于最佳工作状态。另外,零电流范围检测器118具有局限性的,因为它简单地确定电流变换器114的输出处于预设的零范围内,也就是说电流变换器114的输出接近零点。一般情况下,零电流范围检测器118的检测范围应留得足够宽以便考虑由于电流传感器114和电流变换器116漂移和其它因素造成的误差。由于上述公差的影响,零电流范围检测器118只能指出负载电流已经降到一个低的值而不能指明负载电流是否已经降到零点值。结果,根据负载106上电流在降低到118零电流检测器范围内之后仍然继续下降的假定并且它实际上经过一段延迟时间期满以后才会降低到零,所以还应增加一个反向延迟电路118来减少测量的不确定性。不幸的是:这种延迟增加了总的反向时间而且降低了系统的工作效率。此外,安全延迟时间在一定程度上依赖于电路的公差以

及上面所述负载 106 的电感。所以要经常对反向延迟电路 118 进行调整以便获得安装相关的折衷的延迟时间，由此产生令人满意的、平稳的电桥间控制转换，而不会发生由于电桥故障烧断保险丝的故障。但是，随着电路的老化必须对延迟电路定期进行调整。另外，由于电流传感器 114 的漂移还必须定期对电流变换器 116 的零点进行调整。

为了解决现有技术存在的测量不精确和效率低的问题，本发明提出了确定零电流电平的新方法，该方法仅利用已测得的转换器输入的线到线电压 (V_{ab} 、 V_{ac} 、 V_{bc})，而这些电压对线同步已经是必需的。常规情况下，电桥输出电压对电压线性化和控制以及单元触发时间是必要的。在以下详细描述的方法中，控制器基本上能够瞬时辨认零电流电平并且相应地进行功率方向切换而不破坏延迟或故障条件。

因为优选的控制器实际上是数字型的，所以接收的信号被测量的时间与晶闸管实际被触发时刻之间存在一个必要的时间延迟。该时间延迟在零电流电平检测方法中被优先考虑；并且在给定采样时间条件下，它是限制可获得的最大带宽的主要因素。

现在请参看图 2，该方框图展示了结合本发明零电流电平检测系统的实施方案的功率转换设备。具体地说，正向和反向晶闸管电桥 202 和 204 按照上述方式连接于交流电源（单相或多相电源）与负载之间。电桥触发控制器 206 和监视控制器 208 与系统电连接以控制电桥 202 和 204 的触发。按照本发明的实施方案，电桥触发控制器 206 接收来自表示电桥电压输出的系统、电流范围测量以及线到线输入电压的信号。此外，电桥触发控制器还接收表示电桥 202 和 204 中加到各晶闸管门的信号的信号。在以下详述的方法中，电桥触发控制器利用上述信号精确和快速地确定系统中零电流电平的出现，实现从一个电桥到其它电桥安全和有效的电流反向。

现在请参看图 3，该流程图描述了本发明对负载零电流电平的确定方法。在步骤 300 中，用于触发功率转换器反向的数字控制器接收代表测量的输入信号各相的线到线电压的信号。如上所述，该控制器在常规情况下接收这些线到线电压信号以帮助进行线同步。在步骤 302 中，控制器利用所测电压根据以上的 PLL 角的相位和单元触发时序生成重构桥输出电压信号 $V_{br-Recon}$ 。在一个优选实施方案中，重构的桥电压由三相系统的三个线到线电压之一（或者：如果一对晶闸管中的一

个晶闸管处于导通状态时它的反电压)构成,该线到线电压的选择是基于哪一对晶闸管最近被控制器发出的命令所触发。该线到线电压的具体选择方法将在下文中进行详细描述。在步骤 304 中,控制器接收代表实际桥输出电压的 $V_{brg-Pbk}$ 信号。

一旦控制器产生 $V_{br-Recon}$ 信号并且接收了 $V_{brg-Pbk}$ 信号,在步骤 306 中,控制器从 $V_{br-Recon}$ 信号中 $V_{brg-Pbk}$ 信号。下一步,在步骤 308,控制器产生桥电压误差信号 $V_{brg-Error}$,该电压值等于上述两信号之差,必要时可反向。关于该反向步骤,应当理解, $V_{brg-Error}$ 信号的符号依赖于通过系统的电流方向。正向桥导通期间,该 $V_{brg-Error}$ 信号主要为正,反向桥导通期间,该 $V_{brg-Error}$ 信号主要为负。符号变换的影响将在下文中进行详细描述。在步骤 310 中,控制器确定 $V_{brg-Error}$ 信号值是正还是负号。对正向电桥导通,由于通常由短时短路(short duration short circuit),或电压陷波引起的单元换向(cell commutation)效应,在负载上存在电流时, $V_{brg-Error}$ 为正或者为零,所述短时短路,或电压陷波发生在单元换向过程中,而不会存在于重构电桥电压信号中,其典型地导致实际电桥输出电压比重构电桥电压低。与此相类似,反向电桥导通时,在负载上存在电流的情况下,单元换向效应通常会导致一个为负或者为零 $V_{brg-Error}$ 信号。在负载电流为零的时刻,即:电桥不再导通时,负载电压(在有荷负载如马达的情况下,该负载电压由反向电动势,即 BEMF 感应产生。)将出现在电桥输出中而不会像在电桥导通时那样出现在线到线电压之一中。因此,生成的 $V_{brg-Error}$ 信号会立即发生变化指明出现零电流电平。该负载电压变化基本上是瞬时的,它的检测只受控制器采样速度的限制,因而避免了现有的保护系统中存在的有害延迟。简化与解决电桥方向变化的控制器有关的编程或硬件逻辑的一个方法包括:根据反向电桥导通来对 $V_{brg-Error}$ 信号进行反向。这样不管功率流方向如何,对不为零的负载电流, $V_{brg-Error}$ 信号一直不为负值;而当零电流电平出现时, $V_{brg-Error}$ 信号才为负。与现有的测量系统不同, $V_{brg-Error}$ 信号的值既不受负载电感大小也不受马达反向电动势的影响。存在于 $V_{brg-Error}$ 中的误差主要来源简单地归因于跨在晶闸管的电压降中。因此,可以通过在系统初级自调时测量电压降幅度对上述误差进行补偿。

步骤 301 中,如果控制器确定 $V_{brg-Error}$ 信号为正,控制器将返回到

步骤 300 进行另一次采样。然而，如果控制器确定 V_{brg_Error} 信号为负，在步骤 312 中控制器发出零电流电平出现 (ZERO CURRENT LEVEL OCCURRENCE) 信号，指示负载电流降低到零级，可以安全地触发未导通的反向晶闸管桥，以改变系统中功率流方向。

按照本发明，还可以采用额外的安全措施以确保到达零电流电平。具体说来，在本发明的优选实施方案中，控制器会要求在触发转换器反向之前满足以下条件任何或以下所有条件：1) 控制器所控制的电流方向与控制器测量的电流方向相反 (即：已命令转换器反向)；2) 桥电压误差信号 V_{brg_Error} 的数值为负并且有至少等于预设的幅度值；3) 测量的负载电流低于一个最小值 (该条件与现有技术所要求的零电流范围的条件相似)；以及 4) 对至少两次连续采样条件 2 和条件 3 为真 (TRUE)，以保护系统免受由噪音、干扰等引发的虚假信号或者错误信号的影响。

现在请参看图 3，图 3 中的逻辑图 300 展示了用于确定 V_{brg_Recon} 信号和产生一个相关的 V_{brg_Error} 方法的一个实施方案。应当理解，图 300 中展示的逻辑用本领域已知的方式结合到控制器硬件和软件中。如上所述，本发明中的控制器确定三个线到线电压信号 (V_{ab} 、 V_{ac} 和 V_{bc}) 中的哪一个信号应该用作重构的桥电压信号 V_{brg_Recon} 。按照这一要求，本发明的控制器接收代表提供给电桥上每对晶闸管的线到线电压的反馈信号及其反向信号 (V_{ab_Pbk} 、 V_{ac_Pbk} 、 V_{bc_Pbk} 、 $-V_{ab_Pbk}$ 、 $-V_{ac_Pbk}$ 以及 $-V_{bc_Pbk}$)。应当理解，反向反馈信号在第二半相区代表线到线电压。

控制器还接收门信号 ($Gt_Fwd-10-01d$, $Gt_Fwd-20-01d$, $Gt_Fwd-30-01d$, $Gt_Fwd-40-01d$, $Gt_Fwd-50-01d$, $Gt_Fwd-60-01d$, $Gt_Rev-10-01d$, $Gt_Rev-20-01d$, $Gt_Rev-30-01d$, $Gt_Rev-40-01d$, $Gt_Rev-50-01d$ 和 $Gt_Rev-60-01d$)，这些门信号的每一个表示最近施加在存在于正向和反向电桥中 12 个晶闸管的各门元件上的门信号。各个门信号都是逻辑信号，它通过高位或者低位门信号的分别指明了对一特定的晶闸管的触发命令的存在或不存在。应当理解，每一个门信号都被控制器延迟以便将门信号与测得的线到线电压进行同步。

在确定 V_{brg_Recon} 信号的过程中，控制器对各晶闸管的门信号进行了下列逻辑处理。正向电桥的触发检测逻辑包括多个与门 402、404、406、408、410 和 412，每一个门有一对输入，这对输入与对应各晶闸管耦

合的一对门信号相耦合：1 和 2、2 和 3、3 和 4、4 和 5、5 和 6 以及 6 和 1。门 402 - 412 的输出分别与逻辑开关 414、416、418、420、422 和 424 耦合。各与门 402 - 412 输出一个逻辑状态信号给其关联的逻辑开关 414 - 424，指明与操作的结果。只有当晶闸管对中的两个晶闸管的门信号都处于高位时，一个特定的与门 402 - 412 才产生高位逻辑状态信号（即：1）。否则，与门 402 - 412 将产生一个低位逻辑状态信号（即：0）。对每个产生低位逻辑状态信号的 402 - 412 与门来说，相应的逻辑开关将返回一个 0.0V 信号。但是，如果与门产生高位逻辑状态信号，该相应的开关将返回一个与导通晶闸管对相联系的线电压反馈信号。

反向电桥采用了相似的触发检测逻辑，该逻辑包括多个与门 426、428、430、432、434、436 以及相应的逻辑开关：438、440、442、444、446 和 448。在如上所述正向电桥的情形中，与门接收代表施加在每个晶闸管对的门元件上的高位或者低位门信号的信号。如果晶闸管对中的两个晶闸管都具有高位门信号，那么一个高位逻辑状态将会赋给相应的逻辑开关，并且该开关将返回一个与该管对相关的线电压反馈信号。

来自正向和反向桥两者的线到线电压反馈输出被提供给 Brg-Select 逻辑开关 450。由于只有一个电桥和该桥中的一对晶闸管在给定时间导通（发生故障的情况除外），该 Brg-Select 逻辑开关 450 工作中选择具有非零值的线到线的反馈输出信号。该信号然后作为如上所述 $V_{\text{brg-Recon}}$ 信号被通过。下一步，代表实际电桥输出电压的 $V_{\text{brg-Pbk}}$ 信号在加法器 452 中从 $V_{\text{brg-Recon}}$ 信号减去。所得到的信号作为 $V_{\text{brg-Error}}$ 信号输出，控制器利用该信号按以上详述的方式来确定零电流电平。如上所述，由于固有 $V_{\text{brg-Error}}$ 信号的符号按照反向电桥的导通来改变，因此必须考虑这个反向。

在本发明的一个实施方案中，加法器 352 的输出被反向器 354 反向。一旦电流反向，控制器将在正向电桥状态（0）和反向电桥状态（1）之间切换逻辑开关 356，因而使加法器 352 的反向输出变成 $V_{\text{brg-Error}}$ 信号。

现在请参看图 5，该图展示了 $V_{\text{brg-Error}}$ 相对于时间曲线 500，示出了两个不同的零电流电平发生点 502 和 504。如上所述，除负载电流为

零的情况外， $V_{\text{brg-Error}}$ 信号值为正。此时，由于负载电压在电桥输出中出现而不是象电桥导通时会发生的那样出现在线到线电压中的一个电压上，因而 $V_{\text{brg-Fbk}}$ 值将增大。 $V_{\text{brg-Fbk}}$ 增加超出 $V_{\text{brg-Recon}}$ 会导致 $V_{\text{brg-Error}}$ 信号为负，从而指示安全地实施了功率方向的反向。

本发明为确定在反转功率转换器中零电流电平的出现提供了精确和省时的测量系统与方法，该测量系统与方法不需要额外增加部件的成本与复杂性，本发明能够安全地进行功率流反转而不会有由于交叉电桥短路引起的线故障的风险。在如上所述方法中，通过利用已选择的线到线电压中的一个电压来重构桥输出电压并将该电压与实际桥输出电压相比较，生成误差信号，它肯定地和瞬时地指明零电流电平的出现，由此避免了现有技术的问题和缺陷。

应当理解：虽然本发明的零电流电平检测系统是关于检测包括可控硅电桥在内的直流电桥的电流反转而描述的，但是同样方法也可用于控制循环变换器的可控硅电桥，其中采用多个反转直流电桥用来生成控制交流负载的交流电压，这些交流负载包括：马达、发电机等。

虽然在上文中有许多详尽细致的描述，但是这些描述只能被理解为是作为解释之用，而不能将其解释为是对本发明的限定。可以对上述的实施方案进行修改而不会偏离本发明的精神实质及范畴，因为其由以下权利要求及其法律等同性所包括。

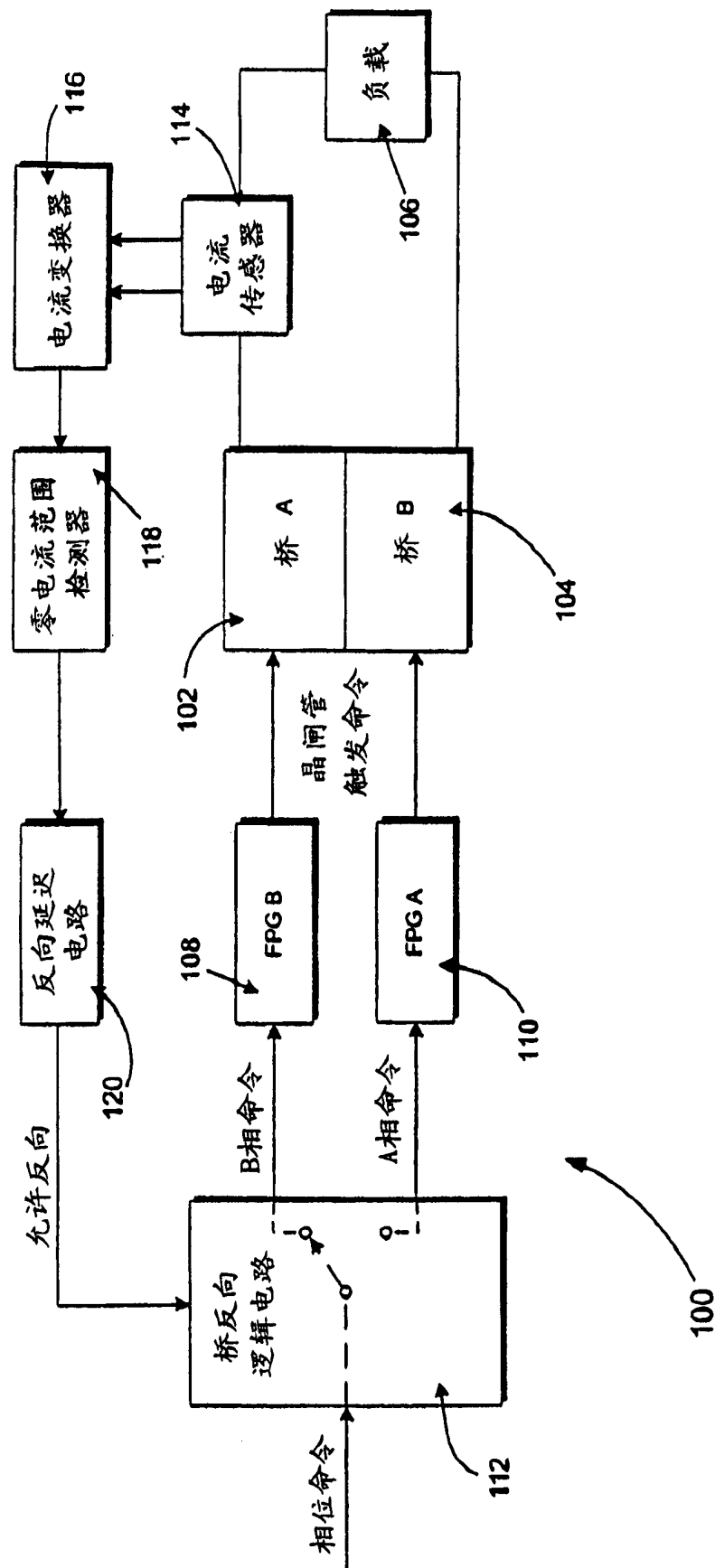


图 1 (现有技术)

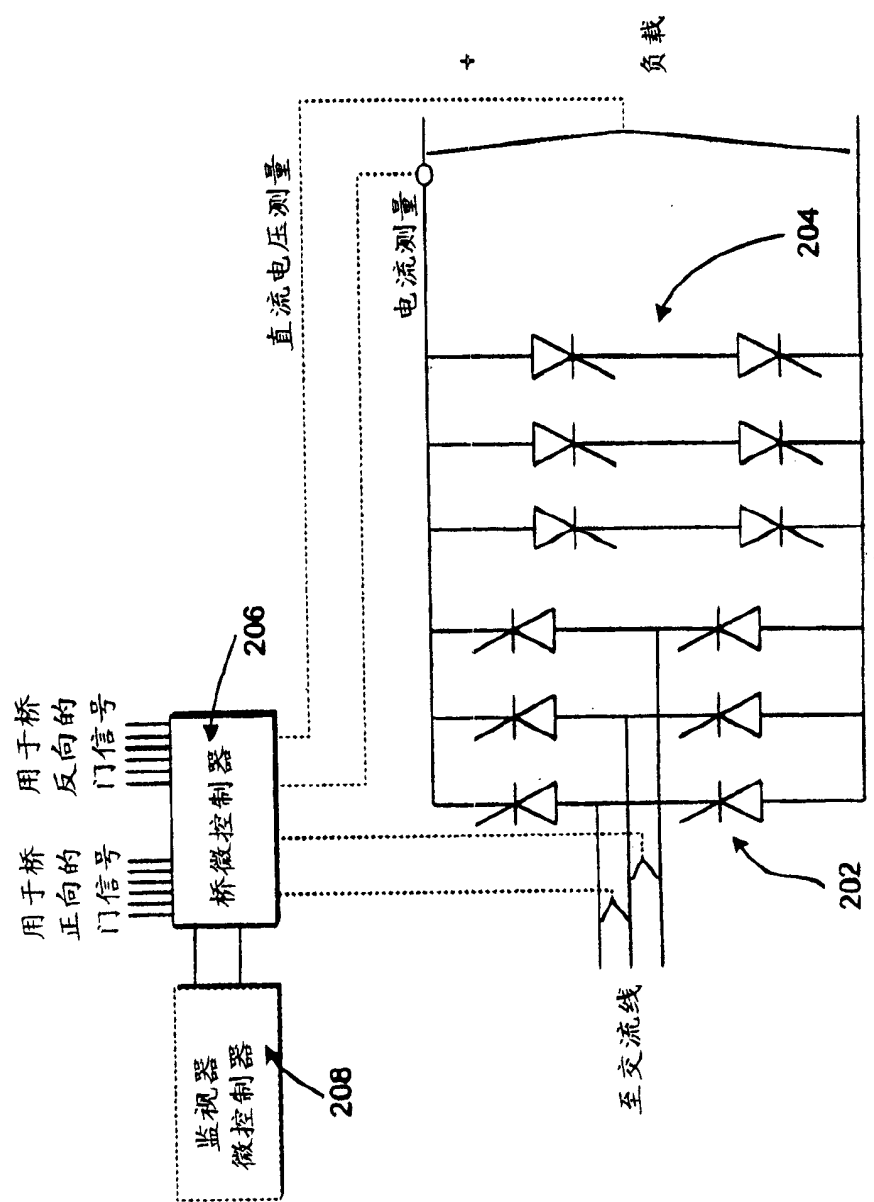


图 2

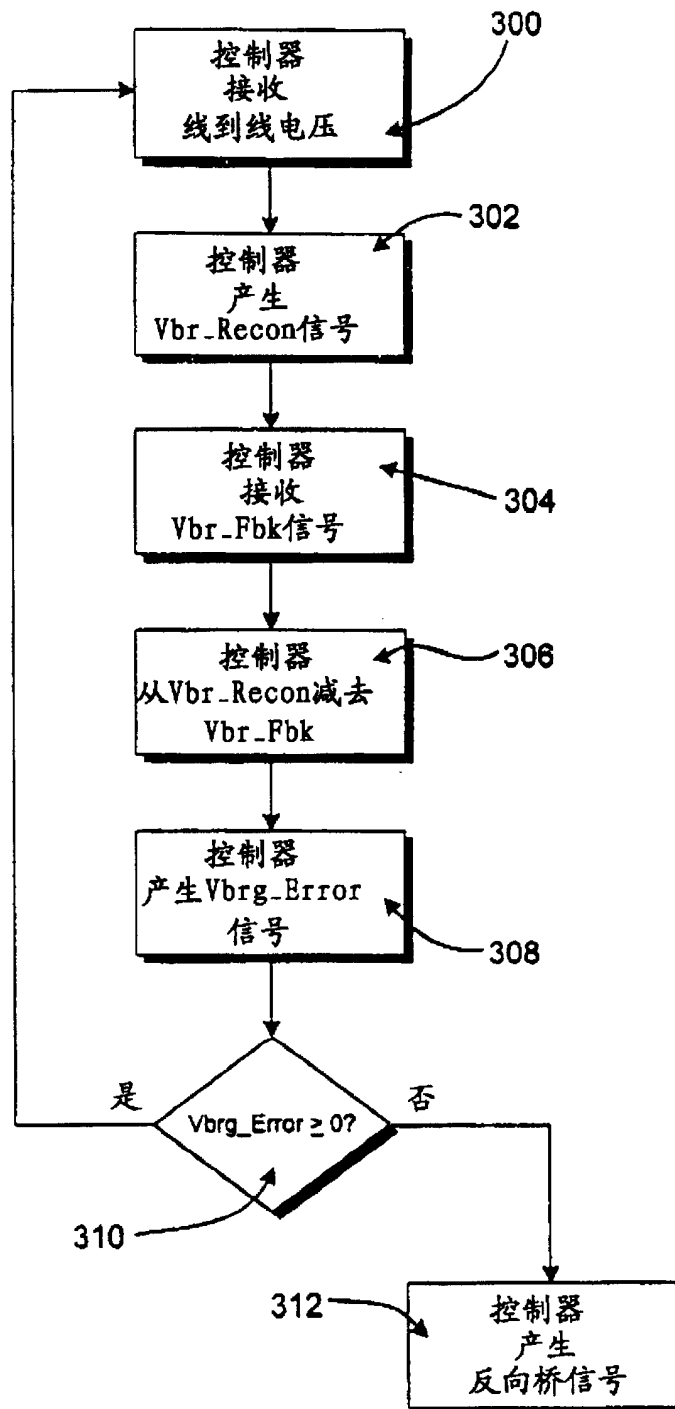
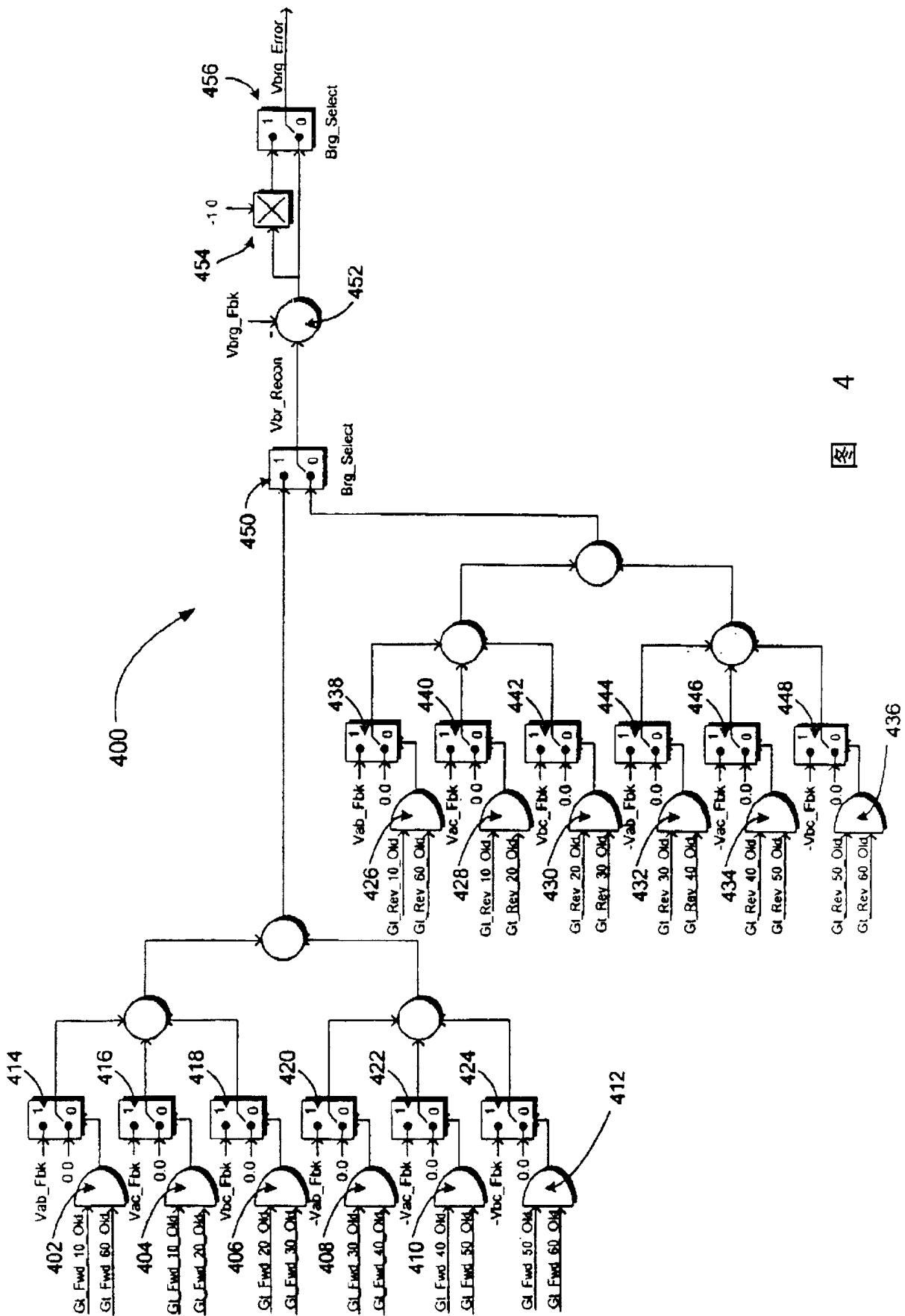


图 3



4

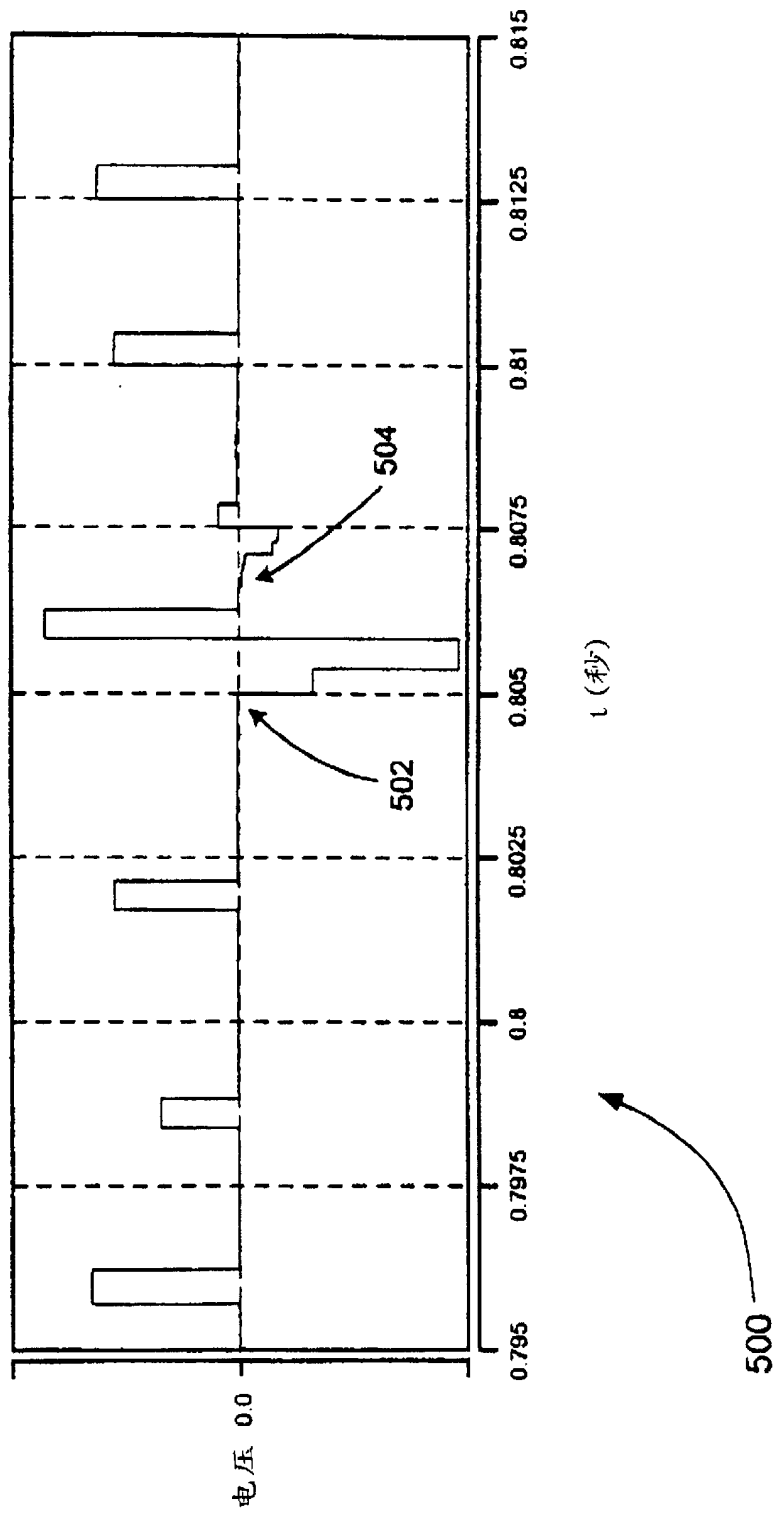


图 5