

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02M 5/42 (2006.01)

G05F 3/02 (2006.01)

G06F 1/32 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580008019. X

[45] 授权公告日 2009 年 7 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 100511948C

[22] 申请日 2005. 1. 27

[21] 申请号 200580008019. X

[30] 优先权

[32] 2004. 2. 12 [33] US [31] 60/544,553

[32] 2004. 7. 12 [33] US [31] 10/889,806

[86] 国际申请 PCT/US2005/003484 2005. 1. 27

[87] 国际公布 WO2005/079227 英 2005. 9. 1

[85] 进入国家阶段日期 2006. 9. 12

[73] 专利权人 大动力公司

地址 美国加利福尼亚

[72] 发明人 阿莱恩·查普斯

[56] 参考文献

US2004/0246754A1 2004. 12. 9

US2002/0118001A1 2002. 8. 29

US6177786B1 2001. 1. 23

US2003/0067404A1 2003. 4. 10

CN1115922A 1996. 1. 31

WO02/31943A2 2002. 4. 18

US2002/0144163A1 2002. 10. 3

EP1324476A1 2003. 7. 2

审查员 徐旭

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

代理人 朱智勇

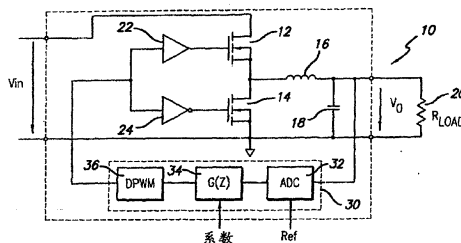
权利要求书 6 页 说明书 14 页 附图 6 页

## [54] 发明名称

传送数字电源控制系统的滤波器补偿系数的方法和系统

## [57] 摘要

提供了一种对分布式电源系统内数控开关式电源的数字滤波器补偿系数进行编程的方法和系统。分布式电源系统包括多个各包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一个适合响应反馈测量结果控制功率开关的操作的数字控制器的负载点 (POL) 调整器。数字控制器还包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器。串行数据总线与每个 POL 调整器连接。系统控制器接到串行数据总线上, 适合通过串行数据总线向多个 POL 调整器传送数字数据。数字数据包括用于对多个滤波器系数编程的编程数据。系统控制器还包括适合从中接收编程数据的用户接口。



1. 一种电源控制系统，所述电源控制系统包括：

多个负载点调整器，每个负载点调整器包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一个适合响应反馈测量结果控制所述至少一个功率开关的操作的数字控制器，所述数字控制器进一步包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器；

一个与所述多个负载点调整器连接的串行数据总线；以及

一个与所述串行数据总线连接的适合通过所述串行数据总线向所述多个负载点调整器传送数字数据的系统控制器，所述数字数据包括用于对所述多个滤波器系数编程的编程数据。

2. 权利要求 1 的电源控制系统，其中所述系统控制器还包括适合从中接收所述编程数据的用户接口。

3. 权利要求 1 的电源控制系统，其中所述数字滤波器还包括一个无限冲激响应滤波器。

4. 权利要求 3 的电源控制系统，其中所述无限冲激响应滤波器提供以下传递函数  $G(z)$ ：

$$G(z) = \frac{PWM(z)}{VEd(z)} = \frac{C_0 + C_1 \cdot z^{-1} + C_2 \cdot z^{-2} + \dots + C_n \cdot z^{-n}}{1 - B_1 \cdot z^{-1} - B_2 \cdot z^{-2} - \dots - B_n \cdot z^{-n}}$$

其中  $PWM(z)$  为数字控制输出， $VEd(z)$  为误差信号，而所述多个滤波器系数包括作为输入侧滤波器系数的  $C_0$ 、...、 $C_n$  和作为输出侧滤波器系数的  $B_1$ 、...、 $B_n$ 。

5. 权利要求 1 的电源控制系统，其中所述数字控制器还包括：

一个提供表示所述反馈测量结果与基准值之间的差的数字误差

信号的模数变换器，所述数字滤波器根据当前和以前的误差信号与以前的控制输出之和提供数字控制输出；

一个适合根据误差状况修改所述数字滤波器的操作的误差控制器；以及

一个向所述至少一个功率开关提供控制信号的数字脉宽调制器，所述控制信号具有与所述数字控制输出相应的脉宽。

6. 一种控制多个负载点调整器的方法，每个负载点调整器包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一个适合响应反馈测量结果控制所述至少一个功率开关的操作的数字控制器，所述数字控制器还包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器，所述方法包括下列步骤：

接收用于对所述多个滤波器系数编程的编程数据；

通过与所述多个负载点调整器连接的公共数据总线串行发送所述编程数据；以及

按照所述编程数据对所述多个负载点调整器中的相应负载点调整器的所述多个滤波器系数编程。

7. 权利要求 6 的方法，其中所述接收步骤还包括接收来自用户的所述编程数据。

8. 权利要求 6 的方法，其中所述编程步骤还包括将所述数字滤波器编程成提供以下传递函数  $G(z)$ ：

$$G(z) = \frac{PWM(z)}{VEd(z)} = \frac{C_0 + C_1 \cdot z^{-1} + C_2 \cdot z^{-2} + \dots + C_n \cdot z^{-n}}{1 - B_1 \cdot z^{-1} - B_2 \cdot z^{-2} - \dots - B_n \cdot z^{-n}}$$

其中  $PWM(z)$  为数字控制输出， $VEd(z)$  为误差信号，而所述多个滤波器系数包括作为输入侧滤波器系数的  $C_0$ 、...、 $C_n$  和作为输出侧滤波器系数的  $B_1$ 、...、 $B_n$ 。

9. 一种负载点调整器，所述负载点调整器包括：

一个适合将中间电压变换为输出电压的电源变换电路，所述电源变换电路包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一个适合响应反馈测量结果控制所述至少一个功率开关的操作的数字控制器，所述数字控制器还包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器；

一个串行数据总线接口，适合传送来自与该串行数据总线接口连接的外部串行数据总线的编程信息；以及

一个与所述串行数据总线接口和所述电源变换电路连接的控制器，所述控制器适合根据通过所述串行数据总线接口接收到的编程数据确定所述多个滤波器系数。

10. 权利要求 9 的负载点调整器，其中所述数字控制器还包括：

一个提供表示所述输出测量结果与基准值之间的差的数字误差信号的模数变换器，所述数字滤波器根据当前和以前的误差信号与以前的控制输出之和提供数字控制输出；

一个适合根据误差状况修改所述数字滤波器的操作的误差控制器；以及

一个向所述至少一个功率开关提供控制信号的数字脉宽调制器，所述控制信号具有与所述数字控制输出相应的脉宽。

11. 权利要求 10 的负载点调整器，其中所述模数变换器适合接收基准电压，该基准电压被用来调节所述模数变换器以将特定范围的模拟信号变换成数字信号。

12. 权利要求 11 的负载点调整器，其中所述模数变换器提供反映所述模数变换器负饱和的 HIGH 信号和反映所述模数变换器正饱和的 LOW 信号。

13. 权利要求 9 的负载点调整器, 其中所述数字滤波器还包括一个无限冲激响应滤波器。

14. 权利要求 13 的负载点调整器, 其中所述无限冲激响应滤波器提供以下传递函数  $G(z)$  :

$$G(z) = \frac{PWM(z)}{VEd(z)} = \frac{C_0 + C_1 \cdot z^{-1} + C_2 \cdot z^{-2} + \dots + C_n \cdot z^{-n}}{1 - B_1 \cdot z^{-1} - B_2 \cdot z^{-2} - \dots - B_n \cdot z^{-n}}$$

其中  $PWM(z)$  为数字控制输出,  $VEd(z)$  为误差信号,  $C_0$ 、...、 $C_n$  为输入侧系数, 而  $B_1$ 、...、 $B_n$  为输出侧系数。

15. 权利要求 10 的负载点调整器, 其中所述数字滤波器还包括一个适合在达到上或下范围极限时对所述数字控制输出进行限幅的范围限制器。

16. 权利要求 15 的负载点调整器, 其中所述范围限制器在达到所述上或下范围极限时向所述误差控制器提供极限信号。

17. 权利要求 10 的负载点调整器, 其中所述数字控制器还包括一个与所述误差控制器和所述数字滤波器连接的多路转换器, 所述误差控制器根据所述误差状况向所述多路转换器提供传送给所述数字脉宽调制器的替代数字控制输出。

18. 权利要求 10 的负载点调整器, 其中所述误差控制器还适合根据所述误差状况用预定值来预置所述以前的误差信号中的至少一个误差信号。

19. 权利要求 10 的负载点调整器, 其中所述误差控制器还适合

根据所述误差状况用预定值来预置所述以前的控制输出中的至少一个控制输出。

20. 权利要求 10 的负载点调整器，其中所述误差控制器还适合根据所述误差状况将所述以前的误差信号中的至少一个误差信号复位为初始值。

21. 权利要求 10 的负载点调整器，其中所述误差控制器还适合根据所述误差状况将所述以前的控制输出中的至少一个控制输出复位为初始值。

22. 权利要求 10 的负载点调整器，其中所述误差状况还包括所述模数变换器饱和。

23. 权利要求 10 的负载点调整器，其中所述误差状况还包括所述数字滤波器数学溢出。

24. 一种对包括多个负载点调整器的电源控制系统编程的方法，每个负载点调整器包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一个适合响应反馈测量结果控制所述至少一个功率开关的操作的数字控制器，所述数字控制器还包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器，所述方法包括下列步骤：

显示至少一个模拟示范性负载点调整器的操作的屏幕，所述至少一个屏幕包括用户可为所述示范性负载点调整器的特性选择的值；

接收用户输入以选择所述用户可选择的值；

计算与所述用户输入相应的数字滤波器系数；以及

有选择地将与所述所计算的滤波器系数相应的数据传送给所述多个负载点调整器中的至少一个负载点调整器，以对所述数字滤波器编程。

25. 权利要求 24 的方法，其中所述用户可选择的值包括电阻值、电感值、电容值、输出电压、输出电流和负载电阻中至少一个。

26. 权利要求 24 的方法，所述方法还包括用与所述所计算的滤波器系数相应的所述数据对所述至少一个负载点调整器的所述数字滤波器编程。

27. 权利要求 24 的方法，其中所述有选择地传送的步骤还包括接收用户输入，以有选择地将所述数据传送给所述多个负载点调整器中的所选择的一个负载点调整器、所述多个负载点调整器中的指配给一个组的多个负载点调整器和所述电源控制系统的所有所述多个负载点调整器。

## 传送数字电源控制系统的滤波器补偿系数的方法和系统

### 相关申请信息

本申请要求按照 35 U.S.C. § 119 (c) 享受 2004 年 2 月 12 日递交的临时专利申请 No. 60/544,553 的优先权。本专利申请也要求按照 35 U.S.C. § 120 作为部分继续享受 2003 年 2 月 10 日递交的专利申请 No. 10/361,667 和 2002 年 12 月 21 日递交的专利申请 No. 10/326,222 的优先权。

### 技术领域

本发明涉及电源电路，具体地说，涉及对开关式电源电路的参数进行编程的数字电源控制系统和方法。

### 背景技术

开关式电源是在本技术领域内已知的，用来将可得到的直流 (DC) 或交流 (AC) 电平电压变换成另一个 DC 电平电压。降压变换器是一种特别的开关式电源，它通过切换进入与负载连接的输出电感器的电流的流动有选择地将能量存储在输出电感器内，为负载提供经调整的 DC 输出电压。它包括两个通常用 MOSFET 晶体管配置的功率开关。与负载并联的滤波电容器降低输出电流的纹波。脉宽调制 (PWM) 控制电路用来以交替方式控制功率开关的选通，以控制输出电感器内电流的流动。PWM 控制电路用通过反馈环路传送的反映输出电压和 / 或电流电平的信号，根据变化的负载状况调整施加给功率开关的工作循环。

传统的 PWM 控制电路用诸如运算放大器、比较器和象用于环路补偿的电阻器和电容器那样的无源器件之类的模拟电路组件以及某些象逻辑门和触发器那样的数字电路组件构成。但是，所希望的是完全



使用数字电路来代替模拟电路组件，因为数字电路占用较小的物理空间，汲取较少的功率，而且可以实现可编程功能或自适应控制技术。

传统的数字控制电路包括将表示需控制的信号（例如，输出电压（ $V_0$ ））与基准之差的误差信号变换成具有  $n$  个比特的数字信号的模数变换器（ADC）。数字控制电路用数字误差信号控制数字脉宽调制器，数字脉宽调制器给具有工作循环的功率开关提供控制信号，使得电源的输出值跟踪基准。数字控制电路可以还包括诸如具有所关联的传递函数的无限冲激响应（IIR）滤波器之类的数字滤波器。传递函数包括定义 IIR 滤波器的操作的补偿系数。所希望的是具有改变这些补偿系数或对这些补偿系数编程的能力，以便定义对于具体负载状况的数字滤波器的操作。

由于电子系统经常需要以不同的离散电压和电流电平提供功率，因此已知的是将中间总线电压分配到电子系统各处，而在电子系统内的耗电点处包括独自的负载点（POL）调整器，例如开关式 DC/DC 变换器。特别是，各电子电路配有各自的 POL 调整器，用来将中间总线电压变换成本电子电路所需的电压电平。一个电子系统可以包括多个 POL 调整器，用来将中间总线电压变换成各个电压电平。理想的是，将 POL 调整器设置成靠近相应的电子电路，以便使布在电子系统内的低电压大电流线的长度最小化。中间总线电压可以用小电流线输送给多个 POL 调整器，使损耗最小。

采用这种分布式处理方法，需要协调对电源系统的这些 POL 调整器的控制和监视。POL 调整器通常在对独自的 POL 调整器进行激活、编程和监视的电源控制器配合下工作。在该技术领域内已知的是控制器用多连接的并行总线对每个 POL 调整器进行激活和编程。例如，并行总线可以传送使每个 POL 调整器接通和断开的启用/停用比特和对 POL 调整器的输出电压设置点编程的电压标识（VID）代码比特。控制器还可以用其他连接监测每个 POL 调整器输送的电压/电流，以便检测 POL 调整器的故障状况。这种控制系统的缺点是它使整个电子系统的复杂性和尺寸加大。

因此,有益的是提供一种能克服现有技术的这些及其他一些缺点的对开关式电源进行数字控制的系统和方法。还有益的是提供一种对分布式电源系统内的数控开关式电源的操作进行控制和监视的系统和方法。具体地说,有益的是提供一种对分布式电源系统内的数控开关式电源的数字滤波器补偿系数进行编程的系统和方法。

### 发明内容

本发明克服了现有技术的缺点,提供了一种对分布式电源系统内数控开关式电源的数字滤波器补偿系数进行编程的系统和方法。

在本发明的一个实施例中,一种电源控制系统包括多个负载点(POL)调整器,每个POL调整器包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一个适合根据反馈测量结果控制功率开关的操作的数字控制器。数字控制器还包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器。一个串行数据总线与每个POL调整器连接。有一个系统控制器接到串行数据总线上,适合通过串行数据总线向多个POL调整器传送数字数据。数字数据包括对多个滤波器系数编程的编程数据。系统控制器还包括适合从中接收编程数据的用户接口。

在本发明的另一个实施例中,提供了一种控制多个负载点(POL)调整器的方法。每个POL调整器包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一个适合根据反馈测量结果控制功率开关的操作的数字控制器。数字控制器还包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器。这种方法包括下列步骤:(a)接收对多个滤波器系数编程的编程数据;(b)通过与多个POL调整器连接的公共数据总线串行发送编程数据;以及(c)按照编程数据对多个POL调整器中的一些有关POL调整器的多个滤波器系数进行编程。具体地说,接收步骤还包括接收来自用户的编程数据。

在本发明的又一个实施例中,提供了一种负载点调整器,这种负载点调整器包括一个适合将中间电压变换为输出电压的电源变换电路。电源变换电路包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一

个适合根据反馈测量结果控制功率开关的操作的数字控制器。数字控制器还包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器。一个串行数据总线接口适合传送来自与它连接的外部串行数据总线的编程信息。一个控制器与串行数据总线接口和电源变换电路连接，适合根据通过串行数据总线接口接收到的编程数据确定多个滤波器系数。

在本发明的又一个实施例中，提供了一种对电源控制系统编程的方法。电源控制系统包括多个负载点（POL）调整器，每个 POL 调整器包括至少一个适合向负载输送功率的功率开关和一个适合根据反馈测量结果控制功率开关的操作的数字控制器。数字控制器还包括一个具有由多个滤波器系数定义的传递函数的数字滤波器。这种方法包括：（a）显示至少一个模拟一个示范性负载点调整器的操作的屏幕，所述至少一个屏幕包括用户可为示范性负载点调整器的特性选择的值；（b）接收选择用户可选择的值的用户输入；（c）计算与用户输入相应的数字滤波器系数；以及（d）有选择地将与所计算的滤波器系数相应的数据传送给多个负载点调整器中的至少一个负载点调整器，供对所述数字滤波器编程用。

### 附图说明

从以下参考附图对优选实施例的详细说明中熟悉本技术领域的人员可以更为全面地理解用于将滤波器系数传送给电源系统内多个负载点调整器的系统和方法以及实现本发明的其他优点和目的，在这些附图中：

图 1 示出了具有数字控制电路的开关式电源；

图 2 示出了提供高、低饱和信号的窗式快速 ADC；

图 3 示出了具有无限冲激响应滤波器和误差控制器的数字控制器；

图 4 示出了按照本发明的一个实施例传送滤波器补偿系数的示范性控制系统；

图 5 示出了 POL 控制系统的示范性 POL 调整器；

图 6 示出了 POL 控制系统的示范性系统控制器；

图 7 为示出模拟 POL 调整器的操作的图形用户界面 (GUI) 的示范性屏幕示意图；以及

图 8 为示出对数字控制器的补偿系数进行编程的 GUI 的示范性屏幕示意图。

### 具体实施方式

本发明提供了一种对开关式电源进行数字控制的方法。具体地说，本发明提供了一种对分布式电源系统内数控开关式电源的数字滤波器补偿系数进行编程的系统和方法。在以下的详细说明中，同样的单元标号用来标注在一个或多个图内所示的同样的单元。

图 1 示出了按照本发明的一个实施例设计的具有数字控制电路的示范性开关式电源 10。电源 10 包括将输入 DC 电压  $V_{in}$  变换成输出 DC 电压  $V_o$  加到电阻性负载 20 ( $R_{load}$ ) 上的降压变换器的布局。电源 10 包括一对用 MOSFET 器件配置的功率开关 12、14。高侧功率开关 12 的源极端接到输入电压  $V_{in}$  上，低侧功率开关 14 的源极端接地，而功率开关 12、14 的漏极端接在一起确定一个相节点。输出电感器 16 串联在相节点与提供输出电压  $V_o$  的端子之间，而电容器 18 与电阻性负载  $R_{load}$  并联。相应的驱动器 22、24 交替地对功率开关 12、14 的栅极端进行驱动。驱动器 22、24 又由数字控制电路 30 控制（在下面说明）。功率开关 12、14 的通、断提供在相节点上具有大体矩形波形的中间电压，由输出电感器 16 和电容器 18 形成的滤波器将矩形波形变换成基本上为 DC 的输出电压  $V_o$ 。

数字控制电路 30 接收来自电源 10 的输出部分的反馈信号。如图 1 所示，反馈信号与输出电压  $V_o$  相应，虽然可以理解反馈信号也可以（或还可以）与电阻性负载  $R_{load}$  所汲取的输出电流或表示需由数字控制电路 30 控制的任何其他信号相应。反馈通道还可以包括将所检测的输出电压  $V_o$  降低到典型电压电平的分压器（未示出）。数字控制电路

30 提供工作循环被控制成将输出电压  $V_o$  (或输出电流) 调整到所希望的电平的脉宽调制波形。即使这个示范性的电源 10 示为具有降压变换器的布局, 但可以理解这种用数字控制电路 30 对电源 10 进行的反馈环路控制同样适用于诸如隔离和非隔离结构的升压和降压-升压变换器之类的其他已知电源的布局和称为电压模式、电流模式、电荷模式和/或平均电流模式控制器的不同控制策略。

具体地说, 数字控制电路 30 包括模数变换器 (ADC) 32、数字控制器 34 和数字脉宽调制器 (DPWM) 36。ADC 32 还包括接收作为输入的反馈信号 (即, 输出电压  $V_o$ ) 和电压基准 (Ref)、产生表示输入之差 ( $\text{Ref}-V_o$ ) 的数字电压误差信号 ( $\text{VEd}_k$ ) 的窗式快速 ADC。数字控制器 34 具有将电压误差信号  $\text{VEd}_k$  变换成数字输出提供给 DPWM 36 的传递函数  $G(z)$ , DPWM 36 将该信号变换成具有成比例的脉宽的波形 ( $\text{PWM}_k$ )。数字控制器 34 接收用于传递函数  $G(z)$  的滤波器补偿系数作为输入, 这在下面还要进一步说明。如以上所说明的那样, DPWM 36 所产生的脉冲调制波形  $\text{PWM}_k$  通过相应的驱动器 22、24 接到功率开关 12、14 的栅极端上。

图 2 示出了用于数字控制电路 30 的示范性窗式快速 ADC 40。ADC 40 接收作为输入的电压基准 Ref 和输出电压  $V_o$ 。电压基准加到包括串联在基准电压端与接到正电源电压 ( $V_{DD}$ ) 上的电流源之间的电阻器 42A、42B、42C、42D 和串联在基准电压端与接地的电流源之间的电阻器 44A、44B、44C、44D 的电阻阶梯的中央。这些电阻器各有相应的电阻值, 与电流源一起确定多个高于和低于电压基准 Ref 的电压增量。电阻值和 / 或电流源的大小可以选择成确定 ADC 40 的 LSB 分辨力。包括多个正侧比较器 46A、46B、46C、46D 和多个负侧比较器 48A、48B、48C、48D 的比较器阵列接到电阻阶梯上。正侧比较器 46A、46B、46C、46D 各有一个接到输出电压  $V_o$  上的非倒相输入端和一个接到电阻器 42A、42B、42C、42D 中的相应电阻器上的倒相输入端。类似地, 负侧比较器 48A、48B、48C 各有一个接到输出电压  $V_o$  上的非倒相输入端和一个接到电阻器 44A、44B、44C、44D

中的相应电阻器上的倒相输入端。负侧比较器 48D 有一个接地的非倒相输入端和接到输出电压  $V_o$  上的倒相输入端。可以理解，可以包括多一些的电阻器和比较器，以增大电压增量数，从而增大 ADC 40 的范围，而图 2 中只是示范性地示出了数量有限的电阻器和比较器。

ADC 40 还包括与比较器 46A、46B、46C 和 48A、48B、48C 的输出端连接的逻辑器件 52。逻辑器件 52 接收比较器输出，提供表示数字电压误差  $VEd_k$  的多比特（例如，4 比特）并行输出。举例来说，超过基准电压  $Ref$  一个电压增量（例如，5mV）的输出电压  $V_o$  将使比较器 46B、46A、48A、48B 和 48C 的输出成为高电平，而使比较器 46C、46D 和 48D 的输出保持为低电平。逻辑器件 52 将这解释为逻辑电平 9（或二进制的 1001），产生所关联的电压误差信号  $VEd_k$ 。可以理解，电压基准  $Ref$  是可变的，以便移动 ADC 40 的窗口。如果输出电压  $V_o$  超过电阻阶梯的最高电压增量，比较器 46D 的输出端就提供一个 HIGH（高）饱和信号。类似地，如果输出电压  $V_o$  低于电阻阶梯的最低电压增量，比较器 48D 的输出端就提供一个 LOW（低）饱和信号。

在图 3 中示出了具有数字滤波器和 ADC 40 的数字控制器。数字滤波器进一步包括根据以前的电压误差输入  $VEd_k$  和以前的输出  $PWM'_k$  产生输出  $PWM'_k$  的无限冲激响应（IIR）滤波器。如以上所说明的那样，ADC 40 提供电压误差输入  $VEd_k$ 。数字滤波器输出  $PWM'_k$  提供给数字脉宽调制器（DPWM）36，数字脉宽调制器 36 将脉宽调制控制信号（ $PWM_k$ ）提供给电源的功率开关。

IIR 滤波器以方框图形式示出，包括多个第一延迟寄存器 72、74、...、76（各标为  $z^{-1}$ ）、多个具有系数 71、73、...、77（标为  $C_0$ 、 $C_1$ 、...、 $C_n$ ）的第一数学运算器（乘法器）、多个第二数学运算器（加法器）92、94、96、多个第二延迟寄存器 82、84、...、86（各标为  $z^{-1}$ ）和多个具有系数 83、87（标为  $B_1$ 、...、 $B_n$ ）的第三数学运算器（乘法器）。第一延迟寄存器 72、74、76 各保存电压误差  $VEd_k$  以前的一个采样，这个采样再用系数 71、73、77 中的一个相应系数加权。类似

地，第二延迟寄存器 82、84、86 各保存输出  $PWM'_k$  以前的一个采样，这个采样再用系数 83、87 中的一个相应系数加权。加法器 92、94 和 96 将经加权的输入和输出采样合并在一起。可以理解，IIR 滤波器内可以包括多一些的延迟寄存器和系数，而图 3 中只是示范性地示出了有限的几个。图 3 中所示的数字滤波器结构是以下传递函数  $G(z)$  的示范性实现：

$$G(z) = \frac{PWM(z)}{VEd(z)} = \frac{C_0 + C_1 \cdot z^{-1} + C_2 \cdot z^{-2} + \dots + C_n \cdot z^{-n}}{1 - B_1 \cdot z^{-1} - B_2 \cdot z^{-2} - \dots - B_n \cdot z^{-n}}$$

误差控制器 62 接收多个反映 ADC 40 和数字滤波器的误差状况的输入信号。具体地说，误差控制器 62 接收来自 ADC 40 的分别反映输出电压  $V_0$  高于和低于 ADC 电压窗口的 HIGH 和 LOW 饱和信号。数学运算器（加法器）92、94、96 各向误差控制器 62 提供一个反映数学运算器的溢出状况（即，进位比特）的溢出信号。数字滤波器还包括在到达上、下范围极限时对输出  $PWM'_k$  限幅的范围限制器 81。在这种情况下，范围限制器 81 为误差控制器 62 提供相应的极限信号。

误差控制器 62 用这些输入信号改变数字滤波器的操作，以便改善数字滤波器对改变的负载状况的响应性。误差控制器 62 与各个第一延迟寄存器 72、74、76 和第二延迟寄存器 82、84、86 连接，以使得能对存储在其中的值复位和 / 或预置。如在这里所使用的，“复位”是指将值设置为初始值（例如，零），而“预置”是指将值设置为另一个预定数值。特别是，误差控制器 62 可以用改变电源特性的预定值代替电压误差  $VEd_k$  和输出  $PWM'_k$  以前的采样。误差控制器 62 接收需用作系数 71、73、...、77 和 83、...、87 的数据值作为外部输入。可以理解，可以通过为系数 71、73、...、77 和 83、...、87 选择适当的数据值对数字滤波器的特性进行编程。

数字控制器还包括允许在  $PWM'_k$  输出信号和误差控制器 62 所提供的预定输出信号之间进行选择的多路转换器 64。误差控制器 62 所提供的选择信号确定让哪个信号通过多路转换器 64。在 ADC 40 进入

**HIGH** 或 **LOW** 饱和时, 误差控制器 62 通过控制多路转换器 64 将  $PWM'_k$  信号设置为特定的预定值 (或一系列部分取决于以前采样的值)。为了从这种状况平滑地恢复, 误差控制器也可以通过再加载多个第一延迟寄存器 72、74、76 和多个第二延迟寄存器 82、84、86, 改变这些经延迟的输入和输出采样。这将保证反馈环路在 ADC 40 从饱和恢复时的受控特性。

举例来说, 如果 ADC 40 所遭受的是正饱和, 即 **LOW** 信号从低电平状态改变为高电平状态, 就可以将  $PWM'_k$  采样复位为零, 以有助于减小误差。通过将  $PWM'_k$  采样复位为零, 传送给电源 10 的高侧功率开关 12 的脉宽趋于零, 从而有效地断开对电阻性负载 20 (见图 1) 的供电。为了从这种情况平滑地恢复, 也可以将采样  $PWM'_{k-1}$ 、 $PWM'_{k-2}$ 、...、 $PWM'_{k-n}$  复位为零或者预置为另一值以便允许平滑恢复。类似地, 如果 ADC 40 所遭受的是负饱和, 即 **HIGH** 信号从低电平状态改变为高电平状态, 就可以将  $PWM'_k$  采样预置为最大值, 以增大传送给高侧功率开关 12 的脉宽, 减小误差。此外, 在发生数字滤波器内部数字溢出时, 误差控制器 62 可以采取防止电源功率开关的不受控制的命令, 诸如改变数字滤波器的输入和输出采样。

在本发明的一个实施例中图 1 的开关式电源还包括设置在电子系统的耗电点处的负载点 (POL) 调整器。电源控制系统包括多个同样的 POL 调整器、至少一个与多个 POL 调整器连接的数据总线和一个接到数据总线上适合向多个 POL 调整器发送数字数据和从多个 POL 调整器接收数字数据的系统控制器。系统控制器通过串行总线传送数据以使用系数 71、73、...、77 和 83、...、87 的值对数字滤波器传递函数  $G(z)$  进行编程。

现在参见图 4, 图中示出了按照本发明的实施例设计的 POL 控制系统 100。具体地说, POL 控制系统 100 包括系统控制器 102、前端调整器 104 和配置成一个阵列的多个 POL 调整器 106、108、110、112 和 114。在这里所示出的 POL 调整器包括但不局限于负载点调整器、负载供电调整器、DC/DC 变换器、电压调整器和熟悉该技术的人



员通常所知的所有其他可编程电压或电流调整装置。在一些单独的 POL 调整器之间配置有设备内部接口，用来控制诸如电流共享或并行工作之类的特定相互作用，例如配置在 POL0 106 与 POL1 108 之间的电流共享接口 (CS1) 和配置在 POL4 112 与 POLn 114 之间的 CS2。在图 4 所示的这个示范性配置中，POL0 106 和 POL1 108 以并行模式工作，产生电流能力增大的输出电压  $V_{o1}$ ，POL2 110 产生输出电压  $V_{o2}$ ，而 POL4 112 和 POLn 114 也以并行模式工作，产生输出电压  $V_{o3}$ ，当然可以理解，可以有益地使用其他 POL 调整器组合和其他数量的 POL 调整器。

前端调整器 104 通过中间电压总线为这些 POL 调整器提供中间电压，前端调整器 14 可以就是另一个 POL 调整器。系统控制器 102 和前端调整器 104 可以集成在单个单元内，也可以配置成分开的器件。或者，前端调整器 104 可以通过多个中间电压总线为这些 POL 调整器提供多个中间电压。系统控制器 102 可以从中间电压总线获得它的功率。

系统控制器 102 通过在图 4 中示为 synch/data (同步/数据) 总线的单向或双向串行总线写入和/或读出数字数据 (无论同步还是异步地) 与这些 POL 调整器通信。Synch /data 总线可以包括允许数据异步发送的双线串行总线 (例如，I<sup>2</sup>C) 或允许数据同步发送 (即，与时钟信号同步) 的单线串行总线。为了对阵列内任何指定的 POL 寻址每个 POL 用一个可以是硬连线或其他方法设定的唯一地址加以标识。例如，系统控制器 102 通过 synch/data 总线传送数据，以对每个 POL 调整器的数字滤波器传递函数  $G(z)$  系数进行编程。系统控制器 102 还通过在图 4 中示为 Ok/fault (正确/故障) 总线的第二单向或双向串行总线与这些 POL 调整器通信，进行故障管理。通过将多个 POL 调整器接到一个共同的 OK/fault 总线上将它们组合在一起，允许这些 POL 调整器在有故障状况的情况下具有相同的行为。此外，系统控制器 102 还通过用户接口总线与对 POL 控制系统 10 进行编程、设置和监视的用户系统通信。最后，系统控制器 102 通过单独的线与前端调

整器 104 通信，以禁止前端调整器工作。

图 5 中详细地示出了 POL 控制系统 10 的示范性 POL 调整器 106。图 4 中的其他 POL 调整器具有基本上相同的配置。POL 调整器 106 包括电源变换电路 142（例如，为图 1 的开关式电源）、串行接口 144、POL 控制器 146、默认配置存储器 148 和硬连线设置接口 150。电源变换电路 142 按照通过串行接口 144 接收到的设置、硬连线设置 150 或默认设置将输入电压（ $V_i$ ）变换为所希望的输出电压（ $V_o$ ）。电源变换电路 142 还可以包括输出电压、电流、温度及其他用来进行局部控制和通过串行接口 144 传回系统控制器的参数的监控传感器。电源变换电路 142 还为独立应用产生 Power Good（电源好，PG）输出信号，以便提供简化的监控功能。串行接口 144 通过 synch/data 和 OK/fault 串行总线向系统控制器 102 发送命令和消息。默认配置存储器 148 存储在通过串行接口 144 或硬连线设置接口 150 接收到编程信号的情况下的 POL 调整器 106 的默认配置。默认配置选择成使得 POL 调整器 106 在没有编程信号的情况下在“安全”状态下工作。

硬连线设置接口 150 与外部连接通信，以在不用串行接口 144 的情况下对 POL 调整器编程。硬连线设置接口 150 可以包括作为输入的 POL 的地址设置（Addr），以按地址（即，POL 的标识符）改变或设置其中的一些设置，例如，相移、启用/停用比特（En）、修整（TRIM）、VID 代码比特，以及选择对不同的输出滤波器结构优化的不同的（预定义的）数字滤波器系数组。此外，地址还在通过串行接口 144 进行通信操作期间标识 POL 调整器。配平输入允许连接一个或多个规定 POL 调整器输出电压电平的外部电阻。类似地，VID 代码比特可用来对 POL 调整器编程，以得到所希望的输出电压/电流电平。启用/停用比特通过触发成数字高电平/低电平信号使 POL 调整器接通/断开。

POL 控制器 146 接收和优先化对 POL 调整器的设置。如果没有通过硬连线设置接口 150 或串行接口 144 接收到设置信息，POL 控制器 146 就接入存储在默认配置存储器 148 内的参数。或者，如果通过硬连线设置接口 150 接收到设置信息，POL 控制器 146 就应用那些参

数。因此，默认设置应用于所有不能或没有通过硬布线设置的参数。硬连线设置接口 150 接收到的设置可以被通过串行接口 144 接收到的信息盖写。因此，POL 调整器可以以独立模式、完全可编程模式或两者结合的模式工作。这种编程的灵活性使多个不同的电源应用能用单个一般的 POL 调整器来满足，从而降低了成本，简化了 POL 调整器的制造。

举例来说，系统控制器 102 通过 synch/data 总线向特定的 POL 调整器 106 传送数据值，供对数字滤波器系数编程用。串行接口 144 接收到这些数据值后就传送给 POL 控制器 146。POL 控制器再将这些数据值与一些指令一起传送给电源变换电路 142，对数字滤波器系数进行编程。

图 6 示出了 POL 控制系统 100 的示范性系统控制器 102。系统控制器 102 包括用户接口 122、POL 接口 124、控制器 126 和存储器 128。用户接口 122 通过用户接口总线将消息发送给用户和接收来自用户的消息。用户接口总线可以由使用标准接口协议的串行或并行双向接口例如 I<sup>2</sup>C 接口提供。诸如监测值或新的系统设置之类的用户信息通过用户接口 122 发送。POL 接口 124 对通过 synch/data 和 OK/fault 串行总线给/来自 POL 调整器的数据进行变换。POL 接口 124 通过 synch/data 串行总线发送设置数据和接收监测数据，而通过 Ok /fault 串行总线接收指出所连接的 POL 调整器中的至少一个 POL 调整器内的故障状况的中断信号。存储器 128 包括用来存储对与系统控制器 102 连接的 POL 调整器的系统设置参数（例如，输出电压、电流限制设置点，定时数据，等等）的非易失性存储器。按需要任选的是，还可以将一个辅助的外部存储器 132 与用户接口 122 连接，以便为监测数据或设置数据提供增大的存储器容量。

控制器 126 与用户接口 122、POL 接口 124 和存储器 128 连接。控制器 126 具有将停用信号（FE DIS）传送给前端调整器 104 的外部端口。在 POL 控制系统 100 启动时，控制器 126 从内部存储器 128（和/或外部存储器 132）读出系统设置，据此通过 POL 接口 124 对 POL

调整器进行编程。每个 POL 调整器根据系统程序设计以规定的方式设置和启动。在正常工作期间，控制器 126 对任何来自用户或 POL 调整器的命令或消息解码，予以执行。控制器 126 监视 POL 调整器的性能，将这信息通过用户接口 122 报告给用户。POL 调整器还可以由用户通过控制器 126 编程成对诸如过电流或过电压状况之类的故障执行特定的自主反应。或者，可以将 POL 调整器编程成只是将故障状况报告给系统控制器 102，由系统控制器 102 按照预先规定的设置确定适当的应对措施，例如通过 FE DIS 控制线关断前端调整器。

监测部件 130 可以是按需要任选的，用来监视电源系统的不是通过 synch/data 或 OK/fault 总线与控制器 102 连接的其他一个或多个电压或电流电平的状态。监测部件 130 可以向控制器 126 提供这信息，以与涉及 POL 控制系统 10 的其他信息相同的方式通过用户接口报告给用户。这样，POL 控制系统 10 可以提供与电子系统内已经存在的电源系统的某些向后兼容性。

如以上所说明的那样，系统控制器 102 具有与对 POL 控制系统的性能进行编程和监视的用户系统通信的接口。用户系统包括直接或者通过网络与接口连接的计算机，它具有适合与系统控制器 102 通信的适当软件。如在该技术中所知，计算机配备有诸如基于 Microsoft Windows™ 界面之类的基于图形的用户界面 (GUI)，含有可动的窗口、图标和鼠标。GUI 可以包括标准的经预编程的表示文本和图形的格式，如在该技术领域内通常所知的。从系统控制器 102 接收到的信息通过 GUI 显示在计算机屏幕上，用户可以通过对 GUI 的特定屏幕作一些改变来对 POL 控制系统的操作进行编程和监视。

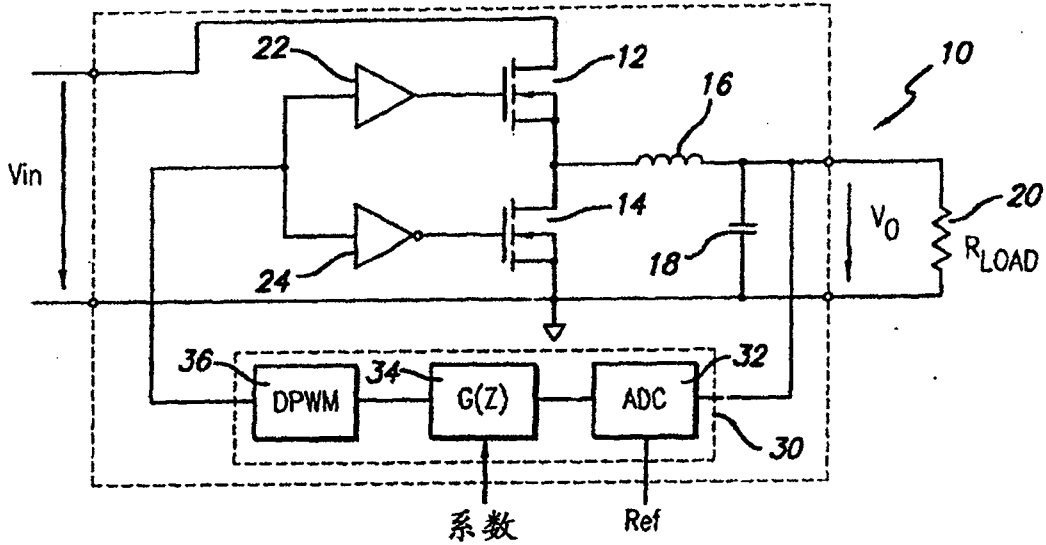
图 7 例示了用来模拟 POL 调整器的操作的 GUI 的示范性屏幕。屏幕示出了具有与以上结合图 1 所说明的示范性开关式电源 10 相应的布局的 POL 调整器。POL 调整器包括一对用 MOSFET 器件配置的功率开关、一个输出电感器  $L_o$  和一个电容器  $C_o$  18。POL 调整器的输出端通过  $\pi$  型滤波器与负载电阻  $R_L$  连接， $\pi$  型滤波器由串联的电感  $L_1$  和内阻  $RL_1$ 、处在  $\pi$  型滤波器第一端的电容  $C_1$  和内阻  $RC_1$  和处在  $\pi$  型

滤波器第二端的电容  $C_2$  和内阻  $RC_2$  组成。POL 调整器还包括为功率开关提供 PWM 驱动信号和接收作为反馈信号的输出电流  $I_{L0}$  和输出电压  $V_0$  的控制电路。输出电压可以通过设置一个开关从传输线任何一端检测。

GUI 使用户可以定义 POL 调整器的各个参数的值, 以便模拟它的工作情况。每个用户可定义参数包括一个允许用户输入所希望的数据值的栏。用户可以诸如通过定义  $\pi$  型滤波器的第一端的电压  $V_1$ 、 $\pi$  型滤波器第二端的电压  $V_2$ 、电压延迟、上升和下降时间以及功率开关驱动脉冲的宽度和周期选择输出电压的参数。用户也可以选择负载分配参数, 包括定义  $\pi$  型滤波器的电阻、电容和电感。用户也可以定义负载电阻和负载电流特性。

一旦用户为 POL 调整器选择了所希望的参数后, GUI 就可以根据所选用的参数执行模拟。图 8 例示了以图形示出 POL 调整器的传递函数  $G(z)$  的 GUI 的示范性屏幕。传递函数以图形示出了增益的幅度和相位随频率的改变情况。作为模拟的一部分, 计算出数字 PWM 的数字滤波器的滤波器系数, 显示在屏幕上。用户可以用调整传递函数的极点和零点的滑动电位器改变增益曲线的形状, 可以反复对 POL 调整器进行模拟, 直到性能结果满足要求。于是, 用户能选择一个适当的按钮将所选择的数字滤波器系数用于在一个特定的印刷电路板上的单个 POL 调整器或一个 POL 调整器组或所有的 POL 调整器组。这个操作会使所选择的滤波器系数存储在系统控制器 102 内所含的非易失性存储器内, 再通过 synch/data 总线如以上所说明的那样传送给每个适当的 POL 调整器。

从上面对分布式电源系统内数控开关式电源的数字滤波器补偿系数进行编程的系统和方法的优选实施例的说明中, 熟悉该技术领域的人员显然可以看到业已实现了这种系统的一定优点。也应该理解, 在不背离本发明的范围和精神的情况下可以对这些实施例进行各种修改、调整和替换。本发明进一步由以下权利要求书定义。



系数  
图 1

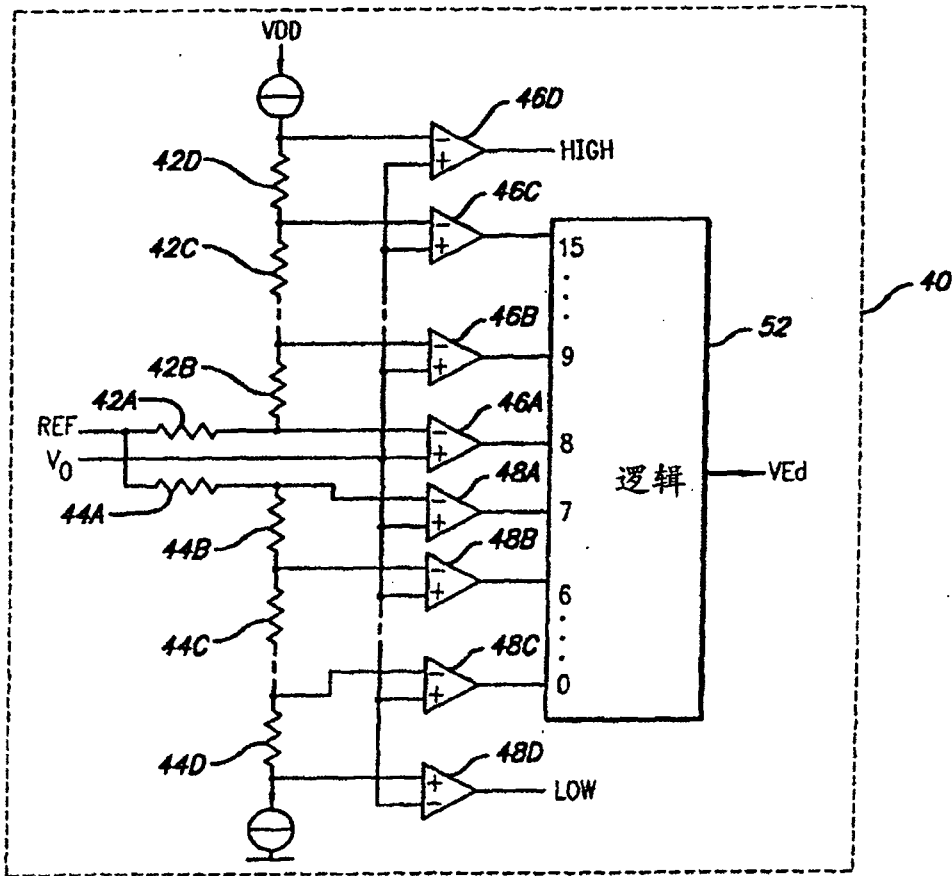


图 2

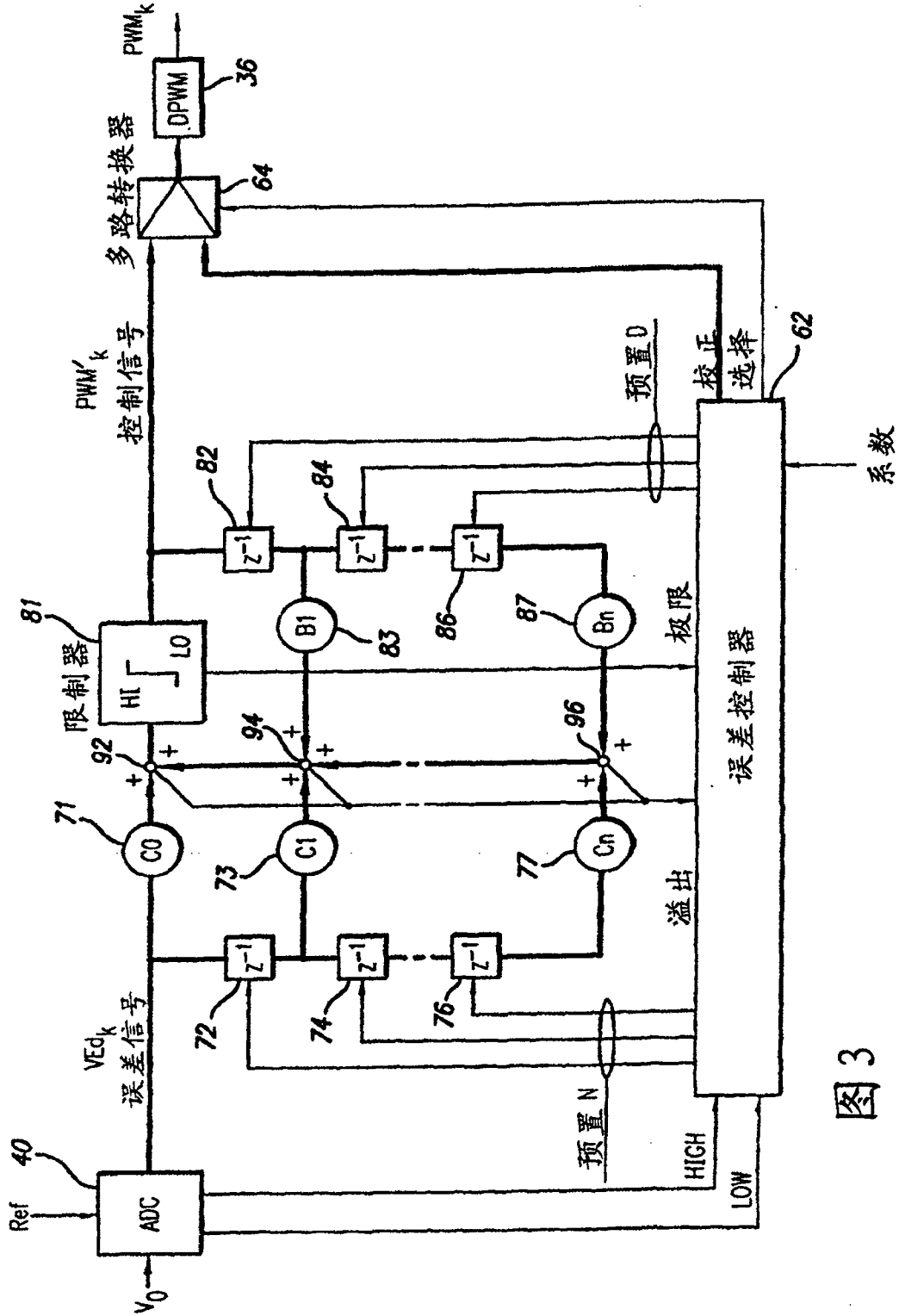


图 3

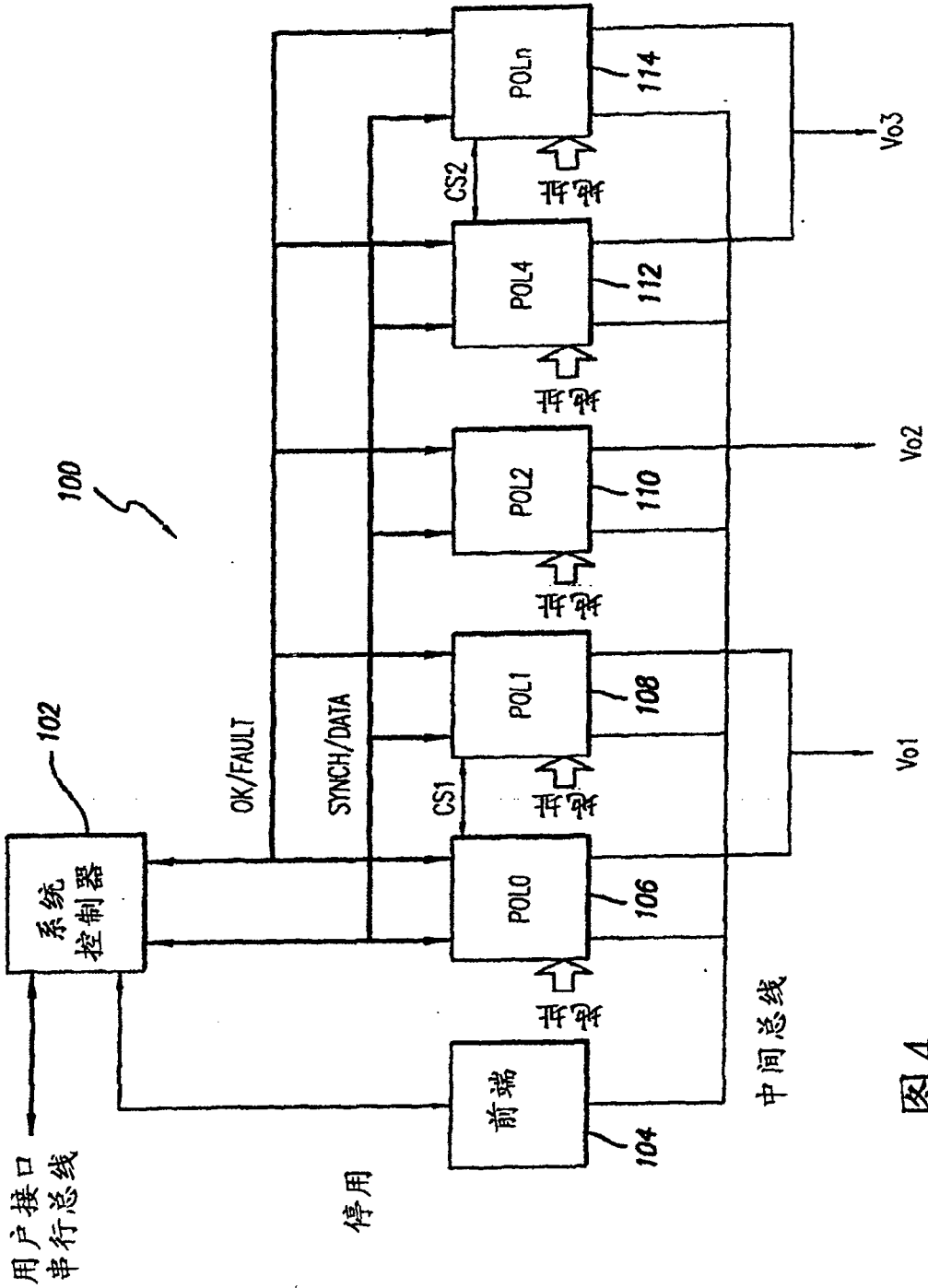


图 4



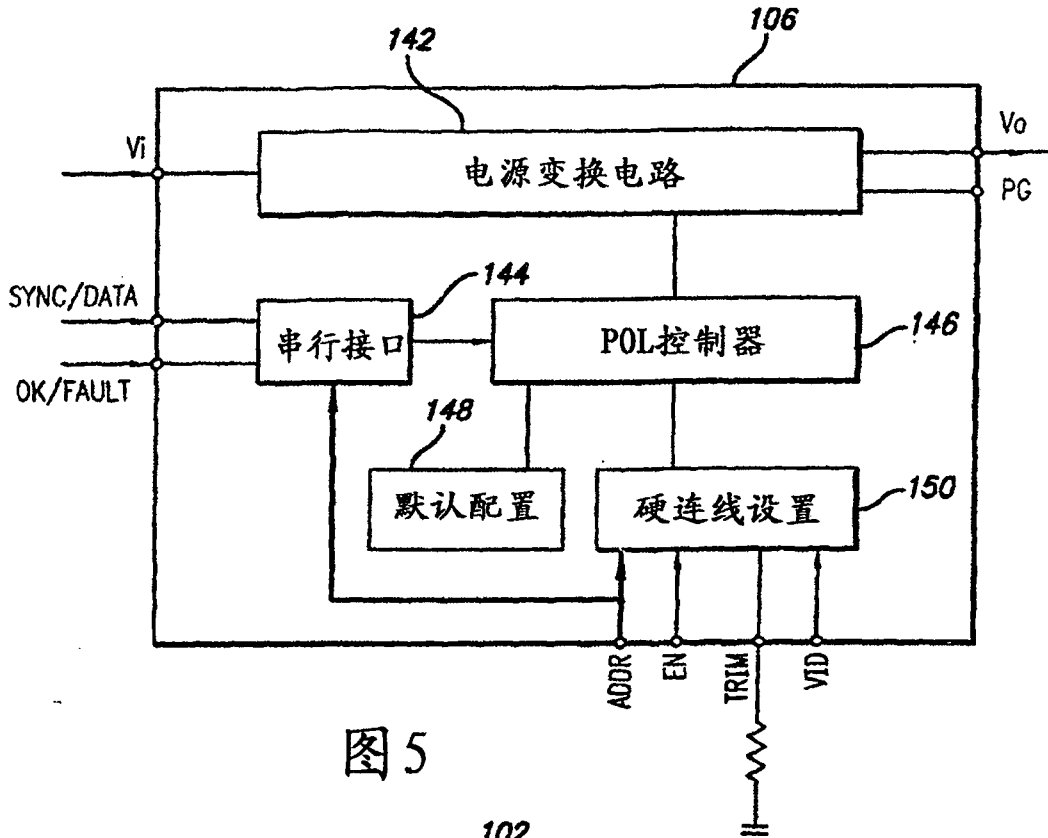


图 5

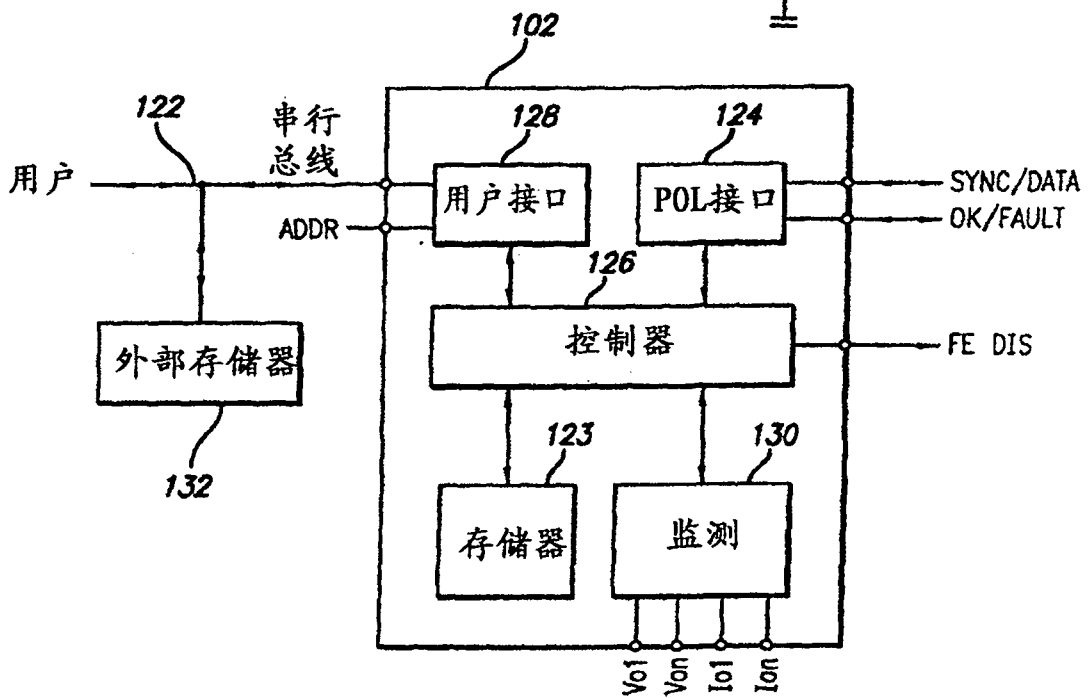


图 6

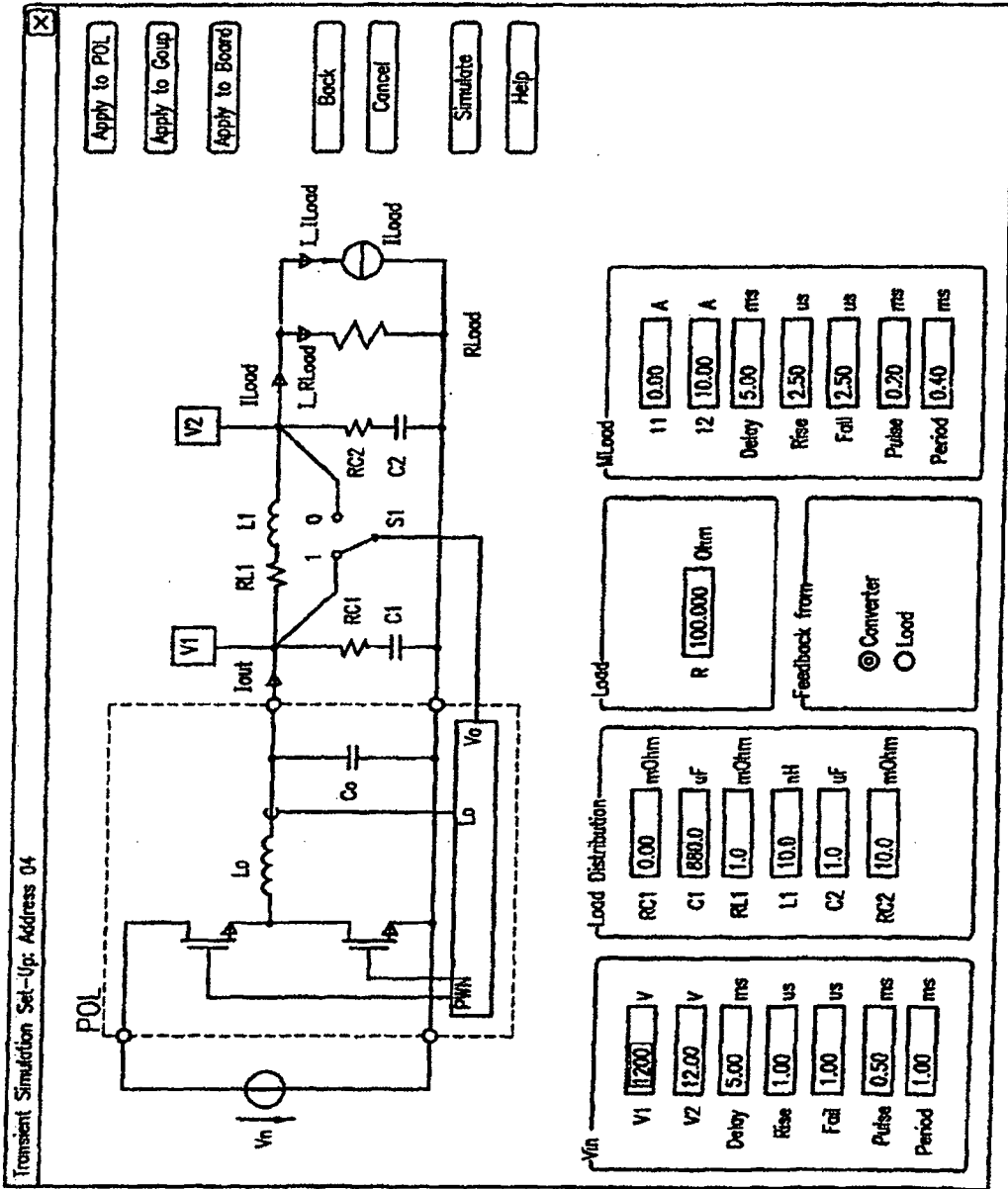


图7

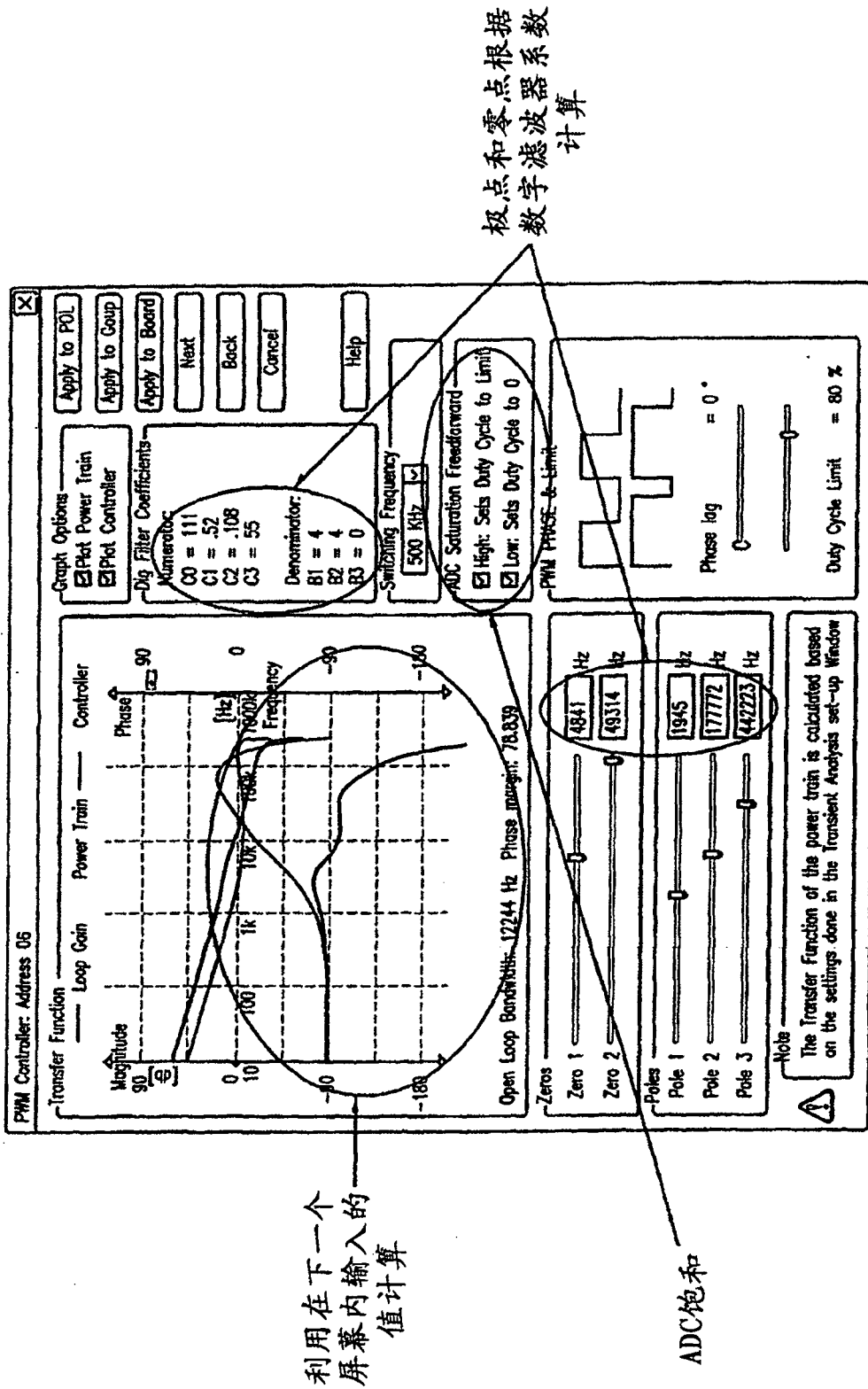


图 8