



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102783004 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 20

(21) 申请号 201080065116. 3

(22) 申请日 2010. 12. 13

(30) 优先权数据

12/683, 743 2010. 01. 07 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 09. 03

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/060059 2010. 12. 13

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/084379 EN 2011. 07. 14

(73) 专利权人 德州仪器公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 孙博胜 罗宇伟 钟·叶

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限

责任公司 11287

代理人 刘国伟

(51) Int. Cl.

H02M 3/28(2006. 01)

H02M 1/32(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101503060 A, 2009. 08. 12,

CN 1825743 A, 2006. 08. 30,

CN 201234208 Y, 2009. 05. 06,

US 2008219030 A1, 2008. 09. 11,

US 2009243388 A1, 2009. 10. 01,

US 7456620 B2, 2008. 11. 25,

US 2007139975 A1, 2007. 06. 21,

US 2007008744 A1, 2007. 01. 11,

审查员 韩朋乐

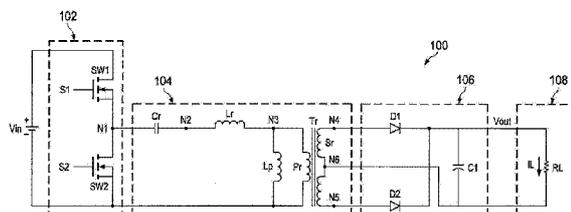
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

通过操作模式切换进行的 LLC 软启动

(57) 摘要

本发明揭示一种包括 LLC 转换器的设备及一种减少 LLC 转换器中的浪涌电流的方法。所述 LLC 转换器 (100) 包含具有第一开关 (SW1) 及第二开关 (SW2) 的切换电路 (102)、谐振电路, 及整流电路 (106)。在所述 LLC 转换器的启动期间, 分别将具有固定周期及可变工作循环的第一及第二信号施加到所述第一及第二开关 (SW1, SW2)。当达到经配置以耦合到所述整流电路 (106) 的负载上的预定电压时, 将所述第一及第二信号改变为具有可变周期及固定工作循环的信号。



1. 一种包含 LLC DC/DC 转换器的设备,所述 LLC DC/DC 转换器包括:
切换电路,其具有第一开关、第二开关、输入及输出,所述输入连接到 DC 直流电压;
谐振电路,其连接到所述切换电路的所述输出;及
整流电路,其连接到所述谐振电路;

其中所述第一开关在所述 LLC 转换器的启动期间可由具有固定周期及可变工作循环的第一 PWM 脉冲宽度调制信号控制;

其中所述第二开关在所述 LLC 转换器的启动期间可由具有固定周期及可变工作循环的第二 PWM 信号控制;

其中,当经配置以耦合到所述整流电路的负载上的电压等于或大于预定第一电压时,所述第一开关可由具有可变周期及固定工作循环的第一谐振模式信号控制;且其中,当所述负载上的所述电压等于或大于所述预定第一电压时,所述第二开关可由具有可变周期及固定工作循环的第二谐振模式信号控制。

2. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述谐振电路包含:

第一电容器;

第一电感器,其连接到所述第一电容器;

第二电感器,其连接到所述第一电感器;及

变压器,其具有初级绕组及次级绕组;

其中所述初级绕组连接到所述第一及第二电感器;且

其中所述初级绕组及所述第二电感器并联连接。

3. 根据权利要求 2 所述的设备,其中所述整流电路包含:

第一二极管,其具有阳极及阴极,所述第一二极管的所述阳极连接到所述次级绕组的第一连接;

第二二极管,其具有阳极及阴极,所述第二二极管的所述阳极连接到所述次级绕组的第二连接,及

第二电容器,其具有第一及第二连接,所述第二电容器的所述第一连接连接到所述第一二极管的所述阴极,且连接到所述第二二极管的所述阴极,所述第二电容器的所述第二连接连接到所述次级绕组的中心分接头。

4. 根据权利要求 2 所述的设备,其中所述整流电路包含:

第一二极管,其具有阳极及阴极,所述第一二极管的所述阳极连接到所述次级绕组的第一连接;

第二二极管,其具有阳极及阴极,所述第二二极管的所述阴极连接到所述次级绕组的所述第一连接;

第三二极管,其具有阳极及阴极,所述第三二极管的所述阳极连接到所述次级绕组的第二连接,且所述第三二极管的所述阴极连接到所述第一二极管的所述阴极;

第四二极管,其具有阳极及阴极,所述第四二极管的所述阳极连接到所述第二二极管的所述阳极,且所述第四二极管的所述阴极连接到所述次级绕组的第二连接;及

第二电容器,其具有第一连接及第二连接,所述第二电容器的所述第一连接连接到所述第一二极管的所述阴极,且所述第二电容器的所述第二连接连接到所述第二二极管的所述阳极且连接到所述第四二极管的所述阳极。

5. 根据权利要求 2 所述的设备,其中所述设备选自由 PDA(个人数字助理)、蜂窝式电话及膝上型计算机组成的群组。

6. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述第一 PWM 信号的所述固定周期约等于所述第二 PWM 信号的所述固定周期;所述第一 PWM 信号的所述可变工作循环具有值 D;所述第二 PWM 信号的所述可变工作循环具有值 D;且所述值 D 在 0 与 0.5 之间。

7. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述第一谐振模式信号具有约 50%的工作循环;所述第二谐振模式信号具有约 50%的工作循环;且所述第二谐振模式信号与所述第一谐振模式信号异相约 180 度。

8. 一种减少 LLC 转换器中的浪涌电流的方法,所述方法包含:

在所述 LLC 转换器的启动期间将具有固定周期及可变工作循环的第一 PWM 信号施加到第一开关;

在所述 LLC 转换器的启动期间将具有固定周期及可变工作循环的第二 PWM 信号施加到第二开关;

当经配置以耦合到整流电路的负载上的电压等于或高于预定第一电压时,将具有可变周期及固定工作循环的第一谐振模式信号施加到所述第一开关;及

当连接到所述转换器的所述负载上的所述电压等于或高于所述预定第一电压时,将具有可变周期及固定工作循环的第二谐振模式信号施加到所述第二开关。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中所述第一 PWM 信号、第二 PWM 信号、所述第一谐振模式信号及所述第二谐振模式信号为方波。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述第一 PWM 信号的所述固定周期约等于所述第二 PWM 信号的所述固定周期;所述第一 PWM 信号的所述可变工作循环具有值 D;所述第二 PWM 信号的所述可变工作循环具有值 D;且所述值 D 在 0 与 0.5 之间。

11. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述第一谐振模式信号具有约 50%的工作循环;所述第二谐振模式信号具有约 50%的工作循环;且所述第二谐振模式信号与所述第一谐振模式信号异相约 180 度。

通过操作模式切换进行的 LLC 软启动

技术领域

[0001] 本发明涉及 DC/DC 转换器,且更特定来说,涉及 LLC DC/DC 转换器。

背景技术

[0002] DC/DC(直流/直流)转换器可见于许多电子装置中。举例来说,DC/DC 转换器通常见于 PDA(个人数字助理)、蜂窝式电话及膝上型计算机中。这些电子装置通常含有若干子电路,所述子电路具有与由电池或外部电源供应的电压电平不同的电压电平要求。DC/DC 转换器将直流电源从一个电压电平转换到另一个电压电平,以满足子电路所要求的电压电平。

[0003] 一种提供 DC/DC 转换的方法是通过使用线性调节器。然而,对于例如膝上型计算机及蜂窝式电话等装置,线性调节器可能消散太多的热量。

[0004] DC/DC 转换器通过暂时储存输入能量且接着将所述能量释放到处于不同电压的输出而将一个 DC 电压转换到另一个 DC 电压。所述储存可处于磁场储存组件(例如,电感器、变压器)或电场储存组件(即,电容器)或两者的组合中。举例来说,此转换方法相比于线性调节器在功率方面是更有效率的(通常 75%到 98%)。此效率对于增加电池操作的装置的运行时间是有益的。

[0005] 在不同的 DC/DC 转换器拓扑之中,LLC(电感器电感器电容器)转换器因为其具有的高效率、平滑波形及高功率密度,近来已经吸引到大量关注。LLC 转换器的高效率是归因于零电压切换(ZVS)的使用。ZVS 减少切换损耗,这又提高 LLC 转换器的效率。

[0006] LLC 转换器以谐振模式操作。在操作的谐振模式期间,具有固定工作循环(约 50%)及可变周期的信号驱动功率开关。功率 MOSFET(金属氧化物半导体场效晶体管)通常用作功率开关。LLC 转换器的启动时间是十分关键的。启动时,LLC 转换器的输出电容器通常被放电。当 LLC 转换器开始为经放电的输出电容器充电时,通过功率 MOSFET 汲取的瞬时电流或浪涌电流可能过大,且引起功率 MOSFET 停止运行。在 LLC 转换器的启动期间逐渐地为输出电容器充电可防止功率 MOSFET 变得不可操作。

发明内容

[0007] 本发明的一个目的是解决现有技术中的上述缺陷。

[0008] 根据本申请的一个实施例,公开了一种 LLC DC/DC 转换器的设备。该 LLC DC/DC 转换器包括:切换电路,其具有第一开关、第二开关、输入及输出,所述输入连接到 DC 直流电压;谐振电路,其连接到所述切换电路的所述输出;及整流电路,其连接到所述谐振电路;其中所述第一开关在所述 LLC 转换器的启动期间可由具有固定周期及可变工作循环的第一 PWM 脉冲宽度调制信号控制;其中所述第二开关在所述 LLC 转换器的启动期间可由具有固定周期及可变工作循环的第二 PWM 信号控制;其中,当经配置以耦合到所述整流电路的负载上的电压等于或大于预定第一电压时,所述第一开关可由具有可变周期及固定工作循环的第一谐振模式信号控制;且其中,当所述负载上的所述电压等于或大于所述预定第一

电压时,所述第二开关可由具有可变周期及固定工作循环的第二谐振模式信号控制。

[0009] 根据本申请的另一个实施例,公开了一种减少 LLC 转换器中的浪涌电流的方法。该方法包含:在所述 LLC 转换器的启动期间将具有固定周期及可变工作循环的第一 PWM 信号施加到第一开关;在所述 LLC 转换器的启动期间将具有固定周期及可变工作循环的第二 PWM 信号施加到第二开关;当经配置以耦合到整流电路的负载上的电压等于或高于预定第一电压时,将具有可变周期及固定工作循环的第一谐振模式信号施加到所述第一开关;及当连接到所述转换器的所述负载上的所述电压等于或高于所述预定第一电压时,将具有可变周期及固定工作循环的第二谐振模式信号施加到所述第二开关。

[0010] 使用 PWM 信号来驱动功率开关逐渐地为输出电容器充电,从而保护所述功率开关免受浪涌电流。

附图说明

[0011] 图 1 为 LLC 转换器的实施例的示意图。

[0012] 图 2 为施加到处于谐振模式的图 1 的 LLC 转换器的实施例的开关 SW1 及 SW2 的电压的时序图。

[0013] 图 3 为作为切换频率 F_s 的函数的 LLC 转换器的实施例的增益的曲线图。

[0014] 图 4 为施加到处于 PWM(脉冲宽度调制)模式的图 1 的 LLC 转换器的实施例的开关 SW1 及 SW2 的电压的时序图。

[0015] 图 5 为说明在启动期间减少 LLC 转换器中的浪涌电流的方法的实施例的流程图。

[0016] 图 6 为全波非中心分接整流电路的实施例的示意图。

具体实施方式

[0017] 图式及描述大体上揭示 LLC 转换器的实例实施例。概括起来,LLC 转换器包括切换电路、谐振电路、整流电路及负载。在启动期间,尤其在输出电容器被放电时,浪涌电流可通过切换电路中的功率开关汲取。为限制此浪涌电流,LLC 转换器首先以 PWM 模式启动。驱动所述功率开关的信号为 PWM(脉冲宽度调制)信号,其具有固定的周期及可变的工作循环。使用 PWM 信号来驱动功率开关逐渐地为输出电容器充电,从而保护所述功率开关免受浪涌电流。

[0018] 当输出电压被充电到接近于输出电压设定点的预定电压(输出电容器此时充足电)时,驱动切换电路中的开关的信号将改变到具有可变周期及固定工作循环的谐振模式信号。如下文将更详细解释,以 PWM 模式启动 LLC 转换器且随后改变为谐振模式降低了 LLC 转换器中的电组件将被损坏的可能性。

[0019] 图 1 为展示 LLC 转换器 100 的实施例的示意图。图 1 中的 LLC 谐振电路 104 包括电容器 C_r 、电感器 L_r 、电感器 L_p 及变压器 T_r 。电容器 C_r 、电感器 L_r 及电感器 L_p 串联连接。电感器 L_r 可由变压器 T_r 的泄漏电感形成,或一离散电感器可用作其一部分。变压器 T_r 的励磁电感 L_m 与和变压器 T_r 的初级绕组 P_r 并联放置的离散电感器的组合可用于形成电感器 L_p 。

[0020] 电容器 C_r 的一个连接在节点 N2 处连接到电感器 L_r 的连接。电感器 L_r 的另一个连接在节点 N3 处连接到变压器 T_r 的初级绕组 P_r 的第一端及电感器 L_p 的第一连接。变压

器 Tr 的初级绕组 Pr 的第二端及电感器 L_p 的第二连接连接到接地。

[0021] 整流电路 106 在此实例中是全波中心分接整流电路；然而，可使用其它类型的整流，例如，全波非中心分接整流（图 6）或半波整流。在整流电路 106 中，变压器 Tr 的次级绕组 S_r 的第一连接在节点 N₄ 处连接到二极管 D₁ 的阳极。变压器 Tr 的次级绕组 S_r 的第二连接在节点 N₅ 处连接到二极管 D₂ 的阳极。D₁ 的阴极、D₂ 的阴极及电容器 C₁ 的第一连接在 V_{out} 处连接。V_{out} 为由 LLC 转换器 100 产生的输出电压。电容器 C₁ 的第二连接在节点 N₆ 处连接到变压器 Tr 的次级绕组 S_r 上的中心分接头。负载 108 中的电阻器 R_L 连接在 V_{out} 及节点 N₆ 处。在此实施例中，电容器 C₁ 用作低通滤波器。然而，也可使用其它低通滤波器，例如 π 型网络 (pi network)。

[0022] 图 6 说明全波非中心分接整流电路的实施例。因为图 6 中展示的实施例不是中心分接的，所以对于全波整流，4 个二极管 D₁、D₂、D₃ 及 D₄ 是必需的。

[0023] 切换电路 102 在此实例中包括两个开关 SW₁ 及 SW₂。在此实例中，开关 SW₁ 及 SW₂ 为 NFET。SW₁ 的漏极连接到 DC 电压 V_{in}。SW₁ 的源极及 SW₂ 的漏极连接在节点 N₁ 处。信号 S₁ 及 S₂ 驱动开关 SW₁ 及 SW₂。SW₂ 的源极连接到接地。N₁ 连接到切换电路 102 的输出。

[0024] 开关 SW₁ 及 SW₂ 切换所处的频率 F_s 由信号 S₁ 及 S₂ 控制（如图 2 中展示）。开关 SW₁ 在周期 T 期间接通的时间量 (DT) 由工作循环 D 确定（如图 2 中展示）。在此实例中，工作循环 D 具有约 0.5 的值。开关 SW₂ 接通的时间量也为 D，但移位 180 度。开关 SW₁ 及 SW₂ 可使用晶体管来实施。在本发明的此实施例中，使用 NFET (N 型场效晶体管)。

[0025] 图 3 为作为谐振频率 F₀ 的函数的 LLC 转换器 100 的实施例的增益的曲线图。当 LLC 转换器 100 在谐振频率 F₀ 附近操作时（这是通常的情况），所有的负载 (Q) 曲线收敛。在此实例中，用于 Q 的等式展示在等式 (1) 中：

$$[0026] \quad Q = ((L_r/C_r)^{1/2}/n^2 * R_L)$$

[0027] 用于 Q 的等式 (1) 中的符号“n”表示变压器 Tr 的匝数比。负载 (Q) 曲线的收敛指示，可在没有显著的切换频率 F_s 变化的情况下驱动较宽范围的负载。

[0028] 在启动 LLC 转换器之前，输出电容器 C₁ 通常被放电，因为其已汲取。因为输出电容器 C₁ 通常被放电，所以启动条件可被视为暂时“短路”。归因于谐振模式控制的固有固定工作循环（约 50%）特性，通过 LLC 转换器 100 的开关 SW₁ 及 SW₂ 汲取的浪涌电流可能过大。因此，开关 SW₁ 及 SW₂ 可能被损坏。

[0029] 用于解决起动 (in-rush) 电流问题的常规解决方案是以最大频率起动 LLC 转换器，接着逐渐降低调制频率，直到输出电压接近设定点为止，其中控制环路接近且此后控制电压 V_{out}。这个解决方案存在两个问题：第一，LLC 转换器上允许的最大频率受限于硬件；第二，如图 3 中展示，当频率增加时，电压调制增益将变得平坦而不是下降到零，使得电压调制增益对于软启动来说不够低。因为这两个问题，输出电压将不会从零斜升；而是，其将跳变到某个值，且接着开始从所述值斜升。由于此初始电压跳变，起动电流将在 SW₁ 及 SW₂ 上引起较高的应力。

[0030] 为避免此浪涌电流，需要渐进地增加流经开关 SW₁ 及 SW₂ 的电流。在 LLC 转换器 100 的此实施例中，为避免浪涌电流，首先以 PWM 模式启动 LLC 转换器 100。

[0031] 图 4 说明用于在启动期间控制浪涌电流的 PWM 信号的实例。PWM 信号具有周期 T 及工作循环 D。在此实例中，信号 S₁ 及 S₂ 的周期 T 是固定的，而工作循环 D 是可变的。工

作循环 D 可从 0 到约 50% 变化。在 LLC 转换器 100 的实施例的启动期间, PWM 信号 S1 及 S2 用于将负载 108 上的电压 V_{out} 从零缓慢地斜升到预定电压 (接近电压 V_{out} 的设定点)。通过改变工作循环, 可控制通过开关 SW1 及 SW2 汲取的电流量, 以避免破坏性浪涌电流。尽管在 PWM 模式条件期间未满足 ZVS (零电压切换) 及 ZCS (零电流切换) 条件, 但在开关 SW1 及 SW2 中消散的热量在此短持续时间内低于装置额定值。因此, 可在启动期间避免对开关 SW1 及 SW2 的潜在损坏。

[0032] 当输出电压 V_{out} 被充电到预定值时, LLC 转换器 100 在此实例中改变到谐振模式。图 2 说明用于在此后控制电压 V_{out} 的谐振模式信号 S1 及 S2 的实例。在此实例中, 方波控制信号 S1 及 S2 的周期 T 是可变的, 而工作循环 D 是固定的。在本发明的实施例中, 控制信号 S1 及 S2 的工作循环 D 为约 50%, 且信号 S2 与控制信号 S1 异相约 180 度。谐振模式控制信号 S1 及 S2 继续使 V_{out} 上的电压增加, 直到达到预定电压为止。在 V_{out} 上达到预定电压之后, 谐振模式信号 S1 及 S2 通过改变其频率来调节电压 V_{out} 。

[0033] 图 5 为说明在启动期间减少 LLC 转换器 100 中的浪涌电流的方法的实施例的流程图。在框 502 中, 监视输出电压 V_{out} 。当电压 V_{out} 小于预定电压时, 以 PWM 模式操作开关 SW1 及 SW2。当电压 V_{out} 等于或大于所述预定电压时, 开关 SW1 及 SW2 改变到谐振模式。

[0034] 本文希望涵盖具有在实例实施例的上下文中描述的特征或步骤中的一者或一者以上的不同组合的实施例, 所述实例实施例具有所有此类特征或步骤或仅具有一些此类特征或步骤。所属领域的技术人员将了解, 许多其它实施例及变化在所主张的发明的范围内也是可能的。

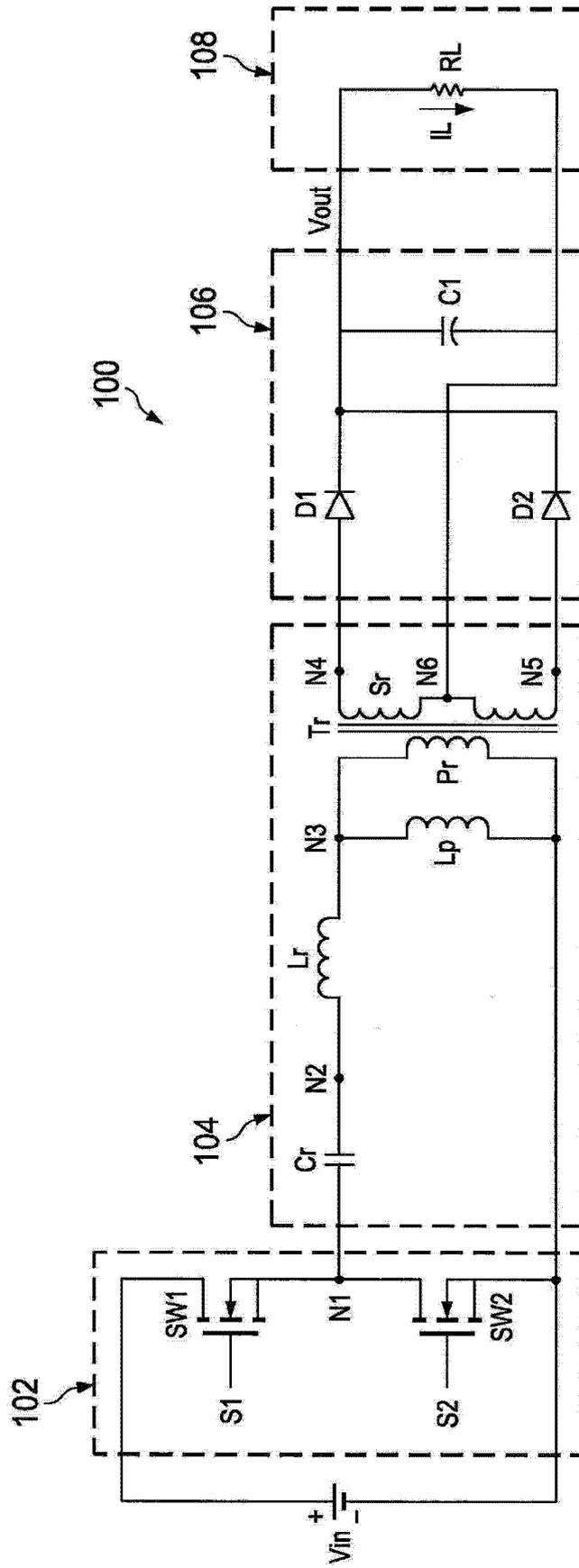


图 1

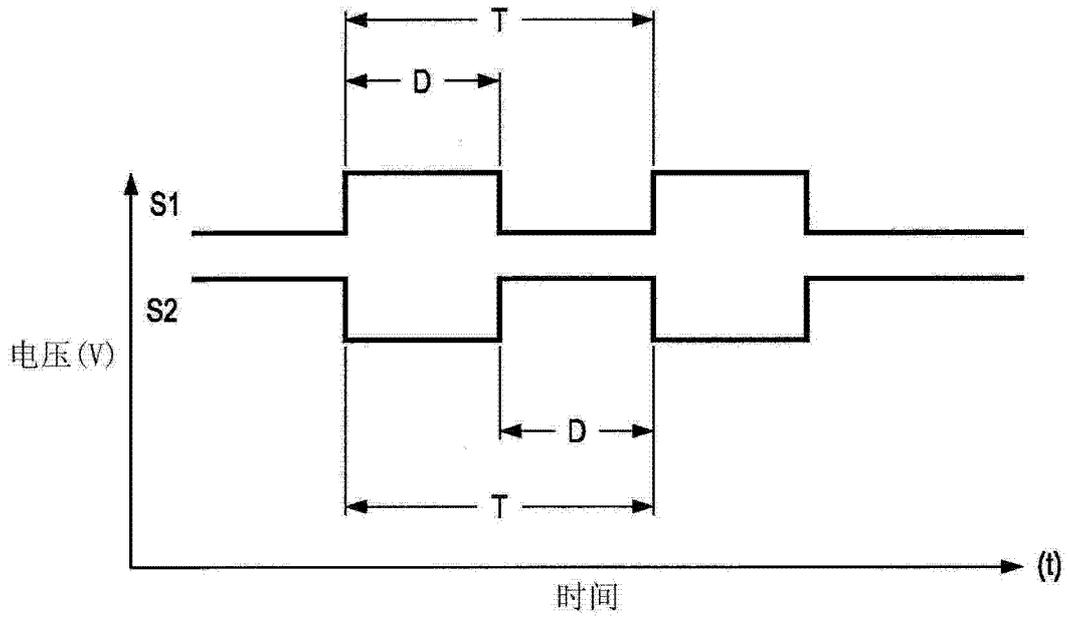


图 2

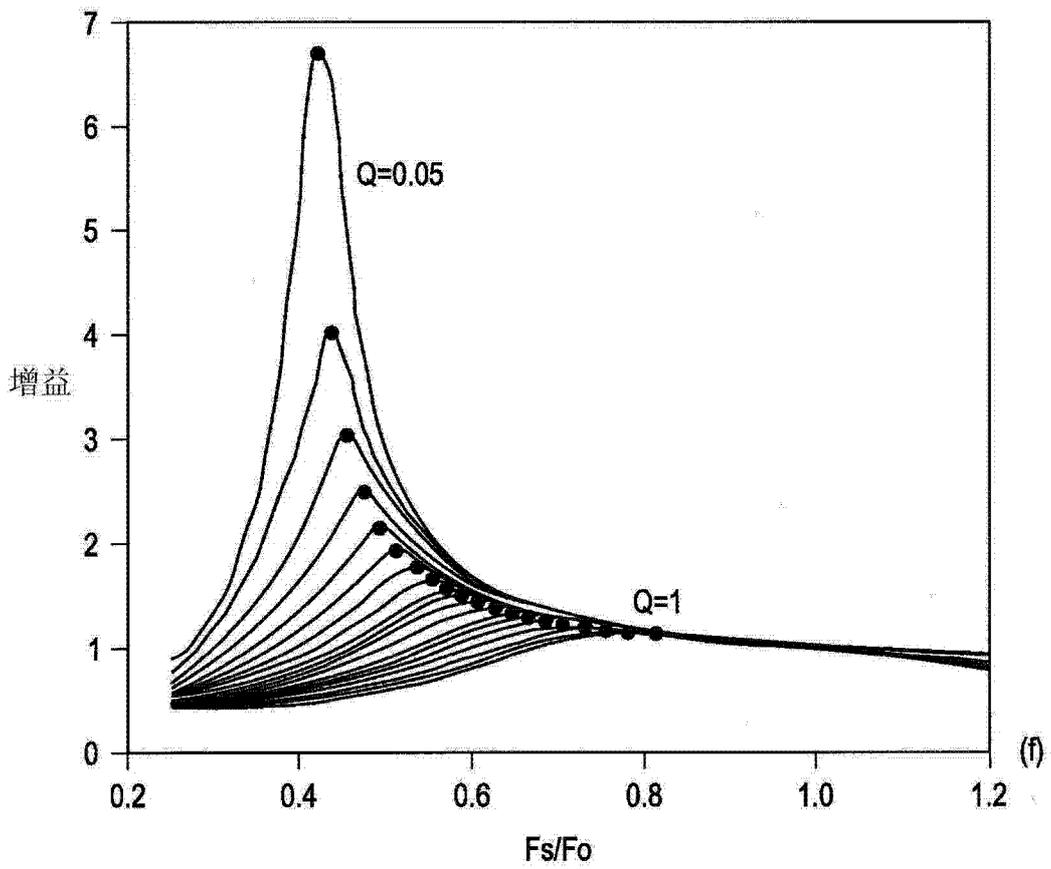


图 3

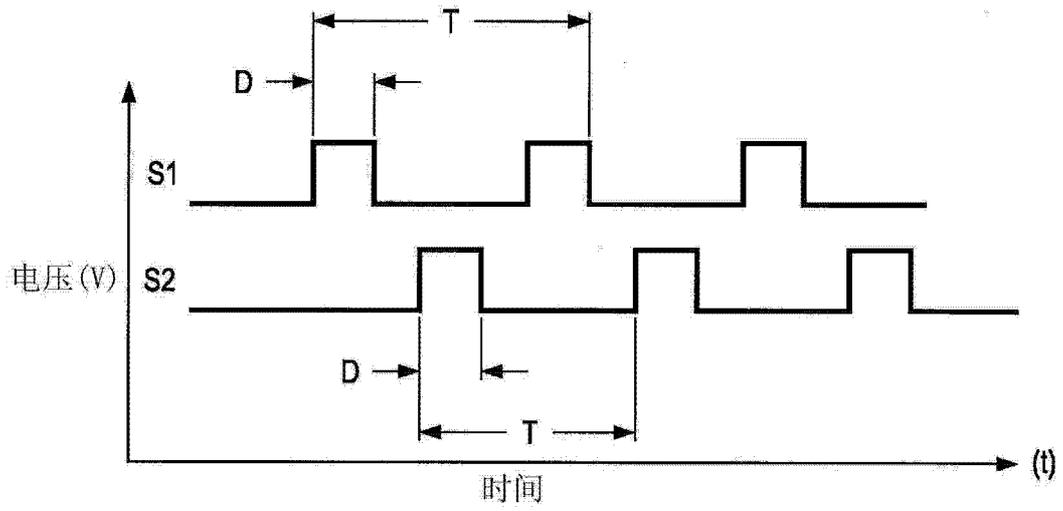


图 4

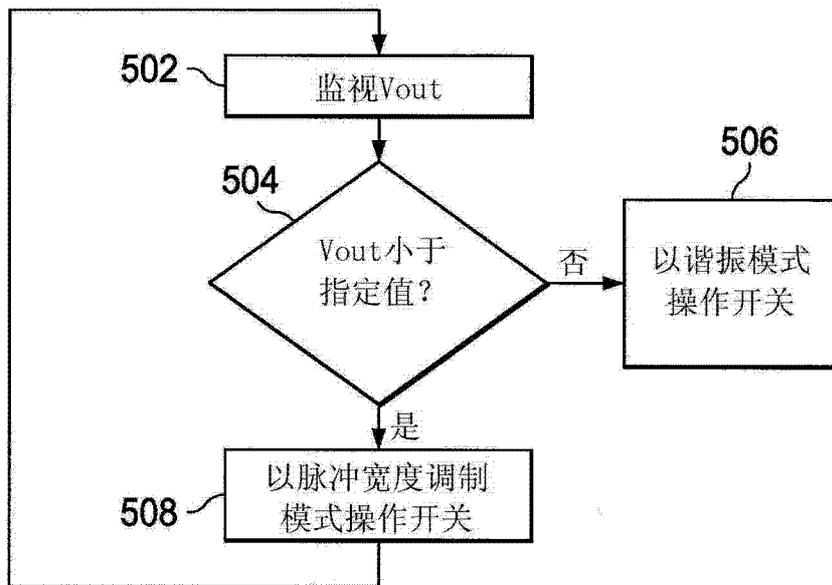


图 5

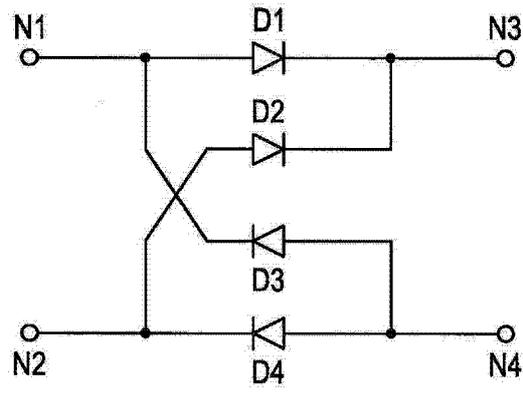


图 6