



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103076564 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 12

(21) 申请号 201210512738. 7

(22) 申请日 2012. 12. 04

(73) 专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市白下区御道街
29 号

(72) 发明人 陈欣 荆易阳

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限
公司 32200

代理人 许方

(51) Int. Cl.

G01R 31/34(2006. 01)

审查员 奚芳华

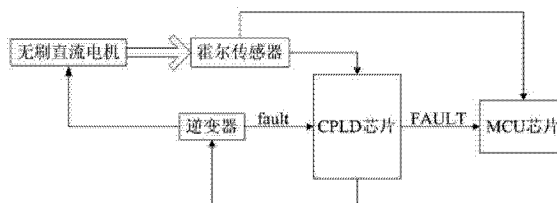
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

无刷直流电机缺相故障的检测电路

(57) 摘要

本发明公开了无刷直流电机缺相故障的检测电路,属于无刷直流电机控制的技术领域。所述无刷直流电机缺相的故障检测电路针对具有两套三相定子绕组的无刷直流电机,包括:霍尔传感器、CPLD 芯片、逆变器、MCU 芯片。逆变器包括两个逆变单元,每个逆变单元包括:一套三相全桥逆变电路、母线电流采样电阻、每个三相全桥逆变电路的电流输入侧接入电流采样电阻并检测一套三相定子绕组;CPLD 接收到逆变器输出的缺相故障信号后,将无刷直流电机从六相十二状态切换至三相六状态,进而达到检测电路在检测出缺相故障的同时,也保证了无刷直流电机在缺相故障下仍然可以平稳运行。



1. 无刷直流电机缺相故障的检测电路,其特征在于,采用六相定子绕组结构的无刷直流电机,所述无刷直流电机缺相的故障检测电路包括:霍尔传感器、CPLD 芯片、逆变器、MCU 芯片;

所述霍尔传感器检测无刷直流电机定子绕组的位置信息,输出数字信号至 CPLD 芯片;

所述逆变器将功率端直流电逆变后驱动无刷直流电机,在无刷直流电机定子绕组缺相时输出故障信号至 CPLD 芯片,逆变器包括两个依次连接的逆变单元,其中,每个逆变单元包括:一套三相全桥逆变电路、母线电流采样电阻、一个采样开关管;负直流母线经过所述母线电流采样电阻与三相全桥逆变电路的桥臂共接点连接;所述采样开关管漏极接直流电,源极经上拉电阻后接地,门极与所述三相全桥逆变电路的桥臂共接点连接;

所述 CPLD 芯片根据霍尔传感器输出的数字信号产生驱动三相全桥逆变电路中开关管的调制信号,对逆变器输出的故障信号做逻辑元运算得到缺相故障信号;

所述 MCU 芯片根据 CPLD 输出的缺相故障信号、霍尔传感器输出的数字信号确定定子绕组故障相;

所述无刷直流电机在正常情况下以六相十二状态导通,在检测出缺相故障信号后以三相六状态方式导通。

无刷直流电机缺相故障的检测电路

技术领域

[0001] 本发明公开了无刷直流电机缺相故障的检测电路,属于无刷直流电机控制的技术领域。

背景技术

[0002] 无刷直流电动机由同步电动机和驱动器组成,是一种典型的机电一体化产品。同步电动机的定子绕组多做成三相对称星形接法,同三相异步电动机十分相似。缺相故障造成电机损坏占很大比例,由此而烧毁的电动机数量是巨大的,造成的经济损失也是极为严重的。

[0003] 当电机发生定子绕组缺相故障时,电机的相电流输出异常或缺失,表现为电机不能转动,或转矩小且波动大,且控制器在绕组缺相状态下工作很容易烧毁,据统计,有半数以上无刷直流电机发生的本体故障是定子绕组开路或短路故障,因此,在以无刷直流电机作为执行机构,且要求高可靠性的伺服系统中有必要设计在无刷电机发生定子绕组缺相故障时的解决方案,以使伺服系统能继续工作。

[0004] 现有的无刷直流电机缺相故障检测电路仅在检测到定子绕组缺相故障后停车运行。在要求可靠性高的伺服领域,当无刷直流电机发生故障时,伺服系统必须能继续工作。比如在以无刷电机作为伺服系统的航空舵回路中,如果伺服系统不能在故障时工作可能会造成坠毁。提供一种既能检测无刷直流电机的缺相故障,又能使得无刷直流电机在缺相情况下平稳运行的检测电路是有必要的。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是针对上述背景技术的不足,提供了无刷直流电机缺相故障的检测电路,

[0006] 本发明为实现上述发明目的采用如下技术方案:

[0007] 无刷直流电机缺相故障的检测电路,采用六相定子绕组结构的无刷直流电机,所述无刷直流电机缺相的故障检测电路包括:霍尔传感器、CPLD 芯片、逆变器、MCU 芯片;

[0008] 所述霍尔传感器检测无刷直流电机定子绕组的位置信息,输出数字信号至 CPLD 芯片;

[0009] 所述逆变器将功率端直流电逆变后驱动无刷直流电机,在无刷直流电机定子绕组缺相时输出故障信号至 CPLD 芯片,逆变器包括两个依次连接的逆变单元,其中,每个逆变单元包括:一套三相全桥逆变电路、母线电流采样电阻、一个采样开关管;负直流母线经过所述母线电流采样电阻与三相全桥逆变电路的桥臂共接点连接;所述采样开关管漏极接直流电,源极经上拉电阻后接地,门极与所述三相全桥逆变电路的桥臂共接点连接;

[0010] 所述 CPLD 芯片根据霍尔传感器输出的数字信号产生驱动三相全桥逆变电路中开关管的调制信号,对逆变器输出的故障信号做逻辑元运算得到缺相故障信号;

[0011] 所述 MCU 芯片根据 CPLD 输出的缺相故障信号、霍尔传感器输出的数字信号确定定

子绕组故障相；

[0012] 所述无刷直流电机在正常情况下以六相十二状态导通，在检测出缺相故障信号后以三相六状态方式导通。

[0013] 本发明采用上述技术方案，具有以下有益效果：检测无刷直流电机的缺相故障的同时保证无刷直流电机在缺相情况下平稳运行。

附图说明

[0014] 图 1 是电机绕组的连接图。

[0015] 图 2 是电机霍尔传感器与定子绕组的位置说明图。

[0016] 图 3 是具有定位故障功能的逆变桥电路图。

[0017] 图 4 至图 6 是一个电周期内无刷直流电机在六相和三相状态导通时的转矩合成图。

[0018] 图 7 是 CPLD 芯片引脚连接示意图。

[0019] 图 8 是 CPLD 芯片的换向逻辑流程图。

[0020] 图 9 是无刷直流电机缺相故障的检测电路。

具体实施方式

[0021] 下面结合附图对发明的技术方案进行详细说明：

[0022] 本发明所述的无刷直流电机缺相故障的检测电路如图 9 所示，针对具有两套三相定子绕组的无刷直流电机，具体包括：霍尔传感器、CPLD 芯片、逆变器、MCU 芯片；

[0023] 霍尔传感器检测无刷直流电机定子绕组的位置信息，输出数字信号至 CPLD 芯片；

[0024] 逆变器将功率端直流电逆变后驱动无刷直流电机，在无刷直流电机定子绕组缺相时输出故障信号至 CPLD 芯片；

[0025] CPLD 芯片根据霍尔传感器输出的数字信号产生驱动逆变器中开关管的调制信号，对逆变器输出的故障信号做逻辑元运算得到缺相故障信号；

[0026] MCU 芯片根据 CPLD 输出的缺相故障信号、霍尔传感器输出的数字信号确定定子绕组故障相。

[0027] 首先结合图 1、图 2、无刷直流电机的本体结构做简单说明。该发明中的无刷直流电机采用六相定子绕组结构如图 1 所示，由两套独立的三相定子绕组构成，即定子绕组 I (A1, B1, C1) 和定子绕组 II (A2, B2, C2)。六相无刷直流电机的 A 相绕组包括 A1 和 A2, B 相绕组包括 B1 和 B2, C 相绕组包括 C1 和 C2, A、B、C 三相绕组之间互差 120° 电角度，对应相（如 A1 和 A2）电枢绕组互差 30° 电角度。其电枢绕组采用双 Y 型联结，并有各自独立的中性点 N1 和 N2。定子绕组与霍尔位置传感器的相对位置示意图如图 2 所示，霍尔传感器由两套独立的三相无刷直流电机传感器构成，hal11, hal12, hal13 对应于定子绕组 I, hal14, hal15, hal16 对应于定子绕组 II。

[0028] 图 3 是本发明中设计的一种具有定位缺相绕组功能的逆变器，它可以在正常情况下以六相十二状态导通，也可以在检测出缺相故障信号后以三相六状态方式导通。逆变器包括两个依次连接的逆变单元。每个逆变单元包括：一套三相全桥逆变电路、母线电流采样电阻、一个采样电路。定子绕组 I 的三个单相定子绕组分别与第一套三相全桥逆变电路的

三个桥臂中点（开关管 Q11、Q12 组成桥臂的中点、开关管 Q13、Q14 组成桥臂的中点。开关管 Q15、Q16 组成桥臂的中点）连接；母线电流采样电阻 R1 串接在第一套三相全桥逆变电路的负直流母线上；采样开关管 S1 漏极接直流电，源极经上拉电阻后接地，门极与所述母线电流采样电阻的采样电流流入端连接。定子绕组 II 的三个单相定子绕组分别与第二套三相全桥逆变电路的三个桥臂中点（开关管 Q21、Q22 组成桥臂的中点、开关管 Q23、Q24 组成桥臂的中点。开关管 Q25、Q26 组成桥臂的中点）连接；母线电流采样电阻 R2 串接在第二套三相全桥逆变电路的负直流母线上，采样开关管 S2 漏极接直流电，源极经上拉电阻后接地，门极与所述母线电流采样电阻的采样电流流入端连接。

[0029] 当无刷直流电机在正常运行时，采样电阻 R1、R2 始终有电流流过，其两端电压经过上拉电路后，fault1 和 fault2 始终输出“1”，此时 CPLD 根据六相霍尔信号产生表 1 第二列的功率管导通信号，可以看出，此时一套三相电机定子绕组总是滞后于另一套三相电机定子绕组 30° 电角度，每一时刻有四只功率管导通，每只功率管导通角度为 120° 电角度。当通电相为 A1B1, C2B2 时，电流从电源正极流出，分别经功率管 Q11 和 Q25 流入电枢绕组 A1 和 C2，再从绕组 B1 和 B2 流出，最后经功率管 Q14 和 Q24 流入电源的负极。假设流入电枢绕组的电流产生的电磁转矩为正，那么流出电枢绕组产生的电磁转矩为负。当给四相绕组 A1B1, C2B2 通电时，产生的电磁转矩矢量图如图 4 所示。当电机转子转过 30° 电角度时，通电相变为 A1B1, A2B2，产生的电磁转矩矢量图如图 5 所示。在一个电周期内的合成转矩矢量图如图 6 所示。由图 6 可以看出，六相无刷直流电机的合成转矩并不是一个连续的转矩，而是呈跳跃式的。不难看出，六相无刷直流电机的合成转矩矢量的方向每 30° 电角度变化一次。

[0030] 当定子绕组发生缺相故障时，相应的母线采样电阻端输出电压在某些时刻为 0，进而产生缺相故障信号触发 CPLD 芯片按照新的三相六状态方式进行换向。以 A1 相绕组开路故障结合图 3 说明，当需 A1 相绕组导通时，由于开路故障 R1 两端电压值为 0，经上拉电路处理后仍然输出 0 到 CPLD 芯片 fault1 引脚，此时 CPLD 芯片将以三相六状态方式驱动定子绕组 II 对应的逆变桥，具体的换向逻辑如表 1 第三列所示，同时 CPLD 芯片输出缺相故障信号 FAULT 至 MCU 芯片，MCU 芯片接收到该信号后更改控制参数对电机进行控制。

[0031]

霍尔信号	正常情况下相序	缺相情况下相序
------	---------	---------

[0032]

hall1 ~ hall6		fault1 = 0	fault2 = 0
001001	A1B1, C2B2	C2B2	A1B1,
011001	A1B1, A2B2	A2B2	A1B1
011011	A1C1, , A2B2	A2B2	A1C1,
010011	A1C1, A2C2	A2C2	A1C1
010010	B1C1, A2C2	A2C2	B1C1

110010	B1C1, B2C2	B2C2	B1C1
110110	B1A1, , B2C2	B2C2	B1A1
100110	B1A1, B2A2	B2A2	B1A1
100100	C1A1, B2A2	B2A2	C1A1
101100	C1A1, C2A2	C2A2	C1A1
101101	C1B1, , C2A2	C2A2	C1B1
001101	C1B1, C2B2	C2B2	C1B1

[0033] 表 1

[0034] CPLD 芯片的输入输出引脚示意图如图 7 所示,以绕组缺相故障信号、六相霍尔信号、控制电机转向和转速的 DIR 信号和 PWM 信号作为输入,输出十二路驱动两套三相全桥逆变桥的触发信号 (PWM11-PWM16, PWM21-PWM26) 及送至 MCU 端的故障信号。

[0035] CPLD 的逻辑换向程序流程图如图 8 所示,以 fault1, fault2 引脚信号作为触发信号来控制无刷直流电机的换向方案,以此决定无刷电机是工作在六相十二状态还是三相六状态方式下。CPLD 芯片对接收到的 fault1、fault2 做与运算:

[0036] 当 $\text{fault1} = 0, \text{fault2} = 1$ 时,隔离定子绕组 I,定子绕组 II 以三相六状态方式换向;

[0037] 当 $\text{fault1} = 1, \text{fault2} = 0$ 时,隔离定子绕组 II,定子绕组 I 以三相六状态方式换向。

[0038] 在 $\text{fault1} = 1$ 且 $\text{fault2} = 1$ 时,定子绕组 I,定子绕组 II 均无故障,两套定子绕组以三相六状态方式换向。

[0039] CPLD 对 fault1、fault2 做与运算得到的 FAULT 信号送至 MCU 的中断引脚。FAULT = 0 时,MCU 中断响应,FAULT 信号触发 MCU 芯片中断程序,MCU 芯片通过实时获得的霍尔传感器测得的数字信号值来定位具体的故障相。

[0040] 综上所述,本发明通过逆变器中的两套全桥逆变器分别检测一套三相定子绕组;CPLD 接收到逆变器输出的缺相故障信号后,将无刷直流电机从六相十二状态切换至三相六状态,进而达到检测电路在检测出缺相故障的同时,也保证了无刷直流电机在缺相故障下仍然可以平稳运行。

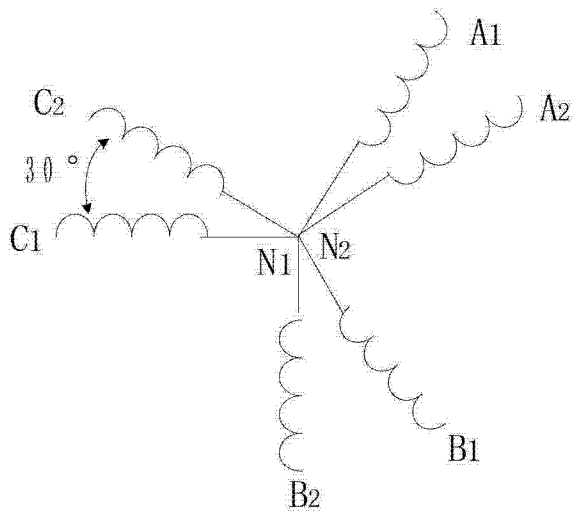


图 1

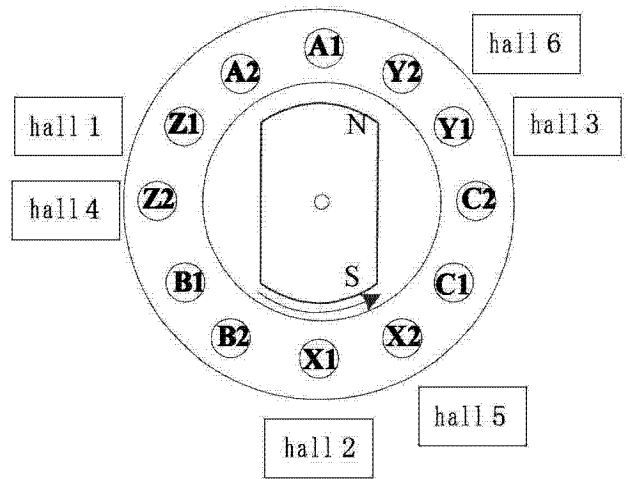


图 2

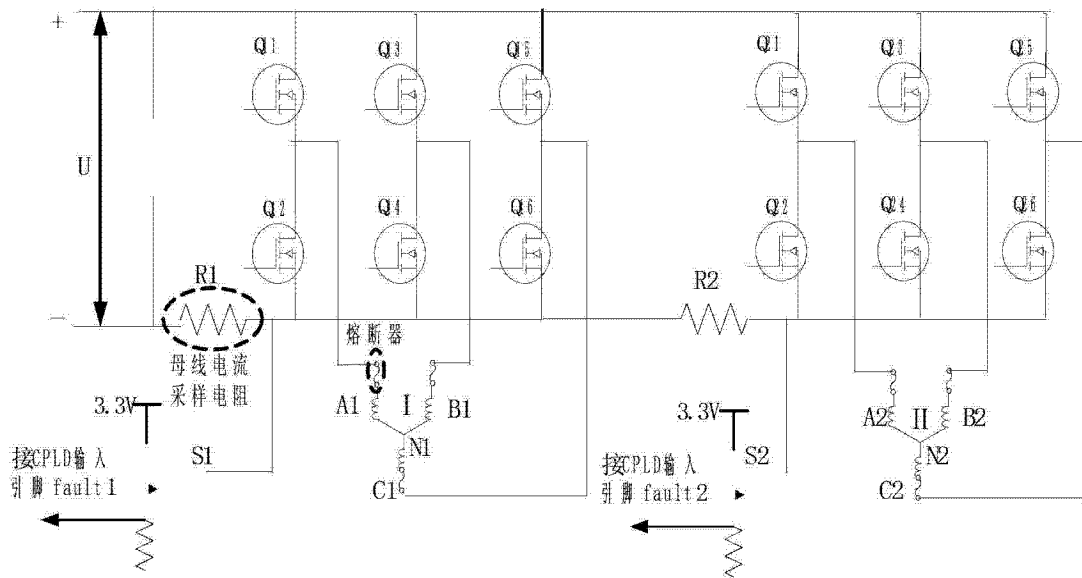


图 3

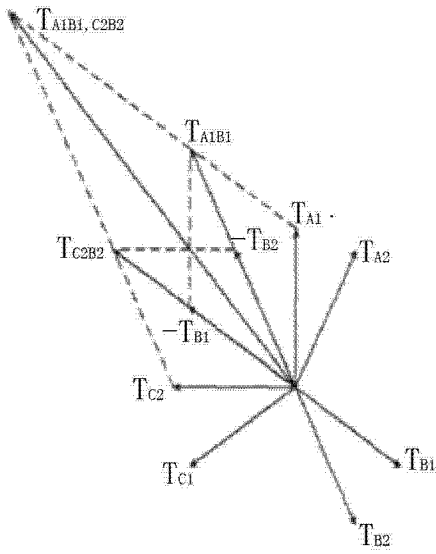


图 4

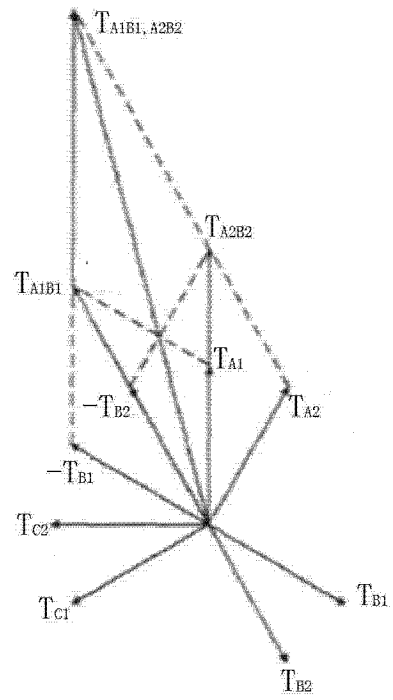


图 5

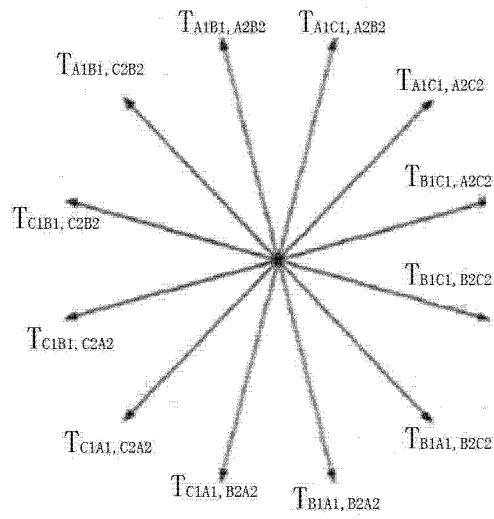


图 6

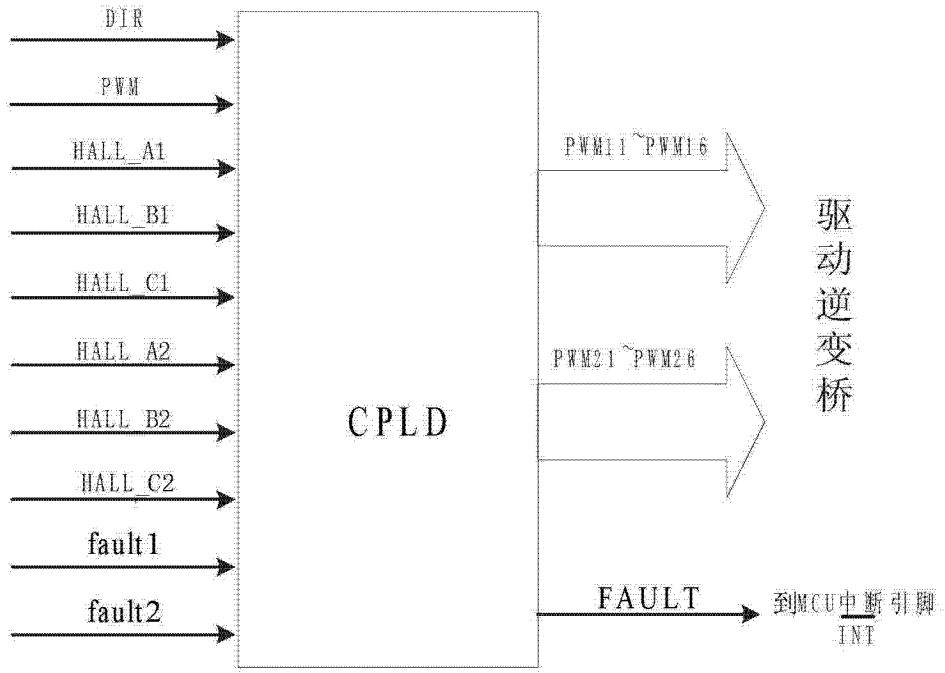


图 7

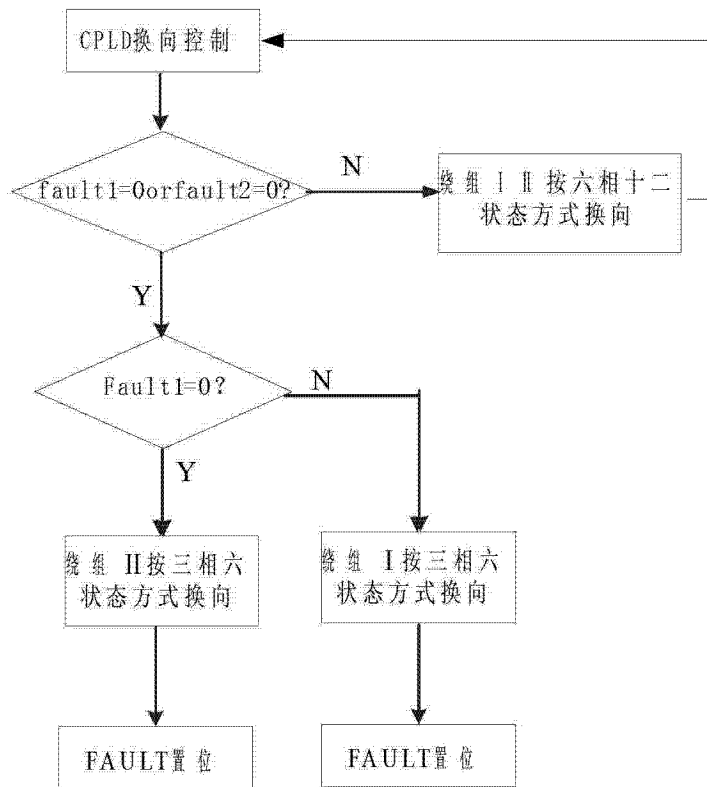


图 8

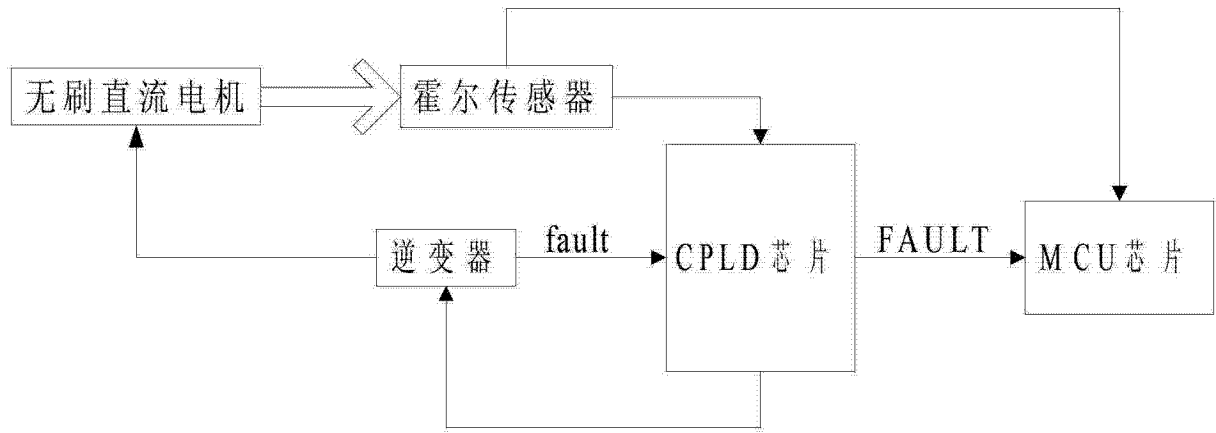


图 9