



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103018698 A

(43) 申请公布日 2013. 04. 03

(21) 申请号 201210353821. 4

H02P 21/00 (2006. 01)

(22) 申请日 2012. 09. 21

(30) 优先权数据

13/244052 2011. 09. 23 US

(71) 申请人 通用汽车环球科技运作有限责任公司

地址 美国密执安州

(72) 发明人 S. M. N. 哈桑 S. E. 舒尔斯
D. P. 塔斯基(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 薛峰

(51) Int. Cl.

G01R 35/00 (2006. 01)

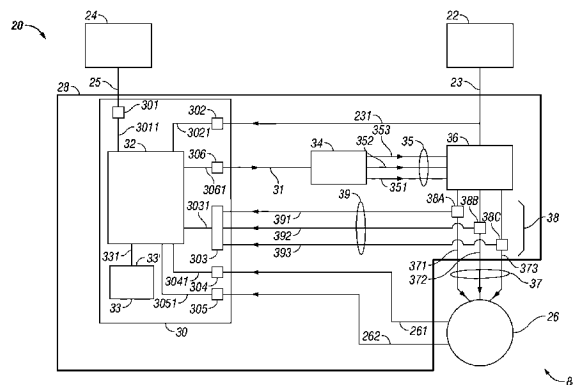
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 3 页

(54) 发明名称

防护电机驱动系统以防电流传感器故障的影响

(57) 摘要

本发明涉及防护电机驱动系统以防电流传感器故障的影响。提供方法和设备用于检测多相电机中的相电流传感器故障。该方法包括,接收输入转矩指令 T^* 并且测量包括电机的每个相的相电流 I_x 在内的反馈信号组,为电机生成对应于输入转矩指令 T^* 的一个值的直和正交指令相电流 I_d^* 、 I_q^* ,确定总指令电流 $I_s = [(I_q^*)^2 + (I_d^*)^2]^{1/2}$,产生负序电流 I_{neg} ,此处,对于三个相是 $I_{neg} = (1/3) [I_a + (\alpha^2) I_b + (\alpha) I_c]$,式中, $\alpha = e^{j2\pi/3}$, I_{neg} 和 I_s 联合提供标准化的负序电流 $I_{nn} = I_{neg}/I_s$,该标准化的负序电流 I_{nn} 与预定阈值 INN^* 作比较以确定相电流传感器故障的存在,并且在 $I_{nn} > INN^*$ 时执行控制动作。



1. 一种用于检测多相电机中的相电流传感器故障的方法,该方法包括:
接收输入转矩指令 T^* 并且测量包括电机每个相的相电流 I_x 的电机的反馈信号组;
为电机生成对应于输入转矩指令 T^* 的值的直和正交指令相电流 I_d^* 、 I_q^* ;
确定总指令电流 $I_s = f(I_d^*, I_q^*)$;
产生负序电流 $I_{neg} = f(I_x)$;
联合 I_{neg} 和 I_s 以提供标准化的负序电流 $I_{nn} = I_{neg}/I_s$;
将标准化的负序电流 I_{nn} 与预定阈值 INN^* 作比较以确定相电流传感器故障的存在;和在 $I_{nn} > INN^*$ 时执行控制动作。
2. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述控制动作包括在 $I_{nn} > INN^*$ 时设置故障标记。
3. 如权利要求 2 所述的方法,其中,所述控制动作包括设置表征故障性质的诊断代码。
4. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述控制动作包括,降低流向电机的相电流 I_x 。
5. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述控制动作包括,降低施加给电机的相电压 V_x 。
6. 一种用于检测三相电机中的相电流传感器故障的方法,该方法可由适于控制电机的电机控制器执行,并且包括:
测量输入转矩指令 T^* 并且设置包括电机三个相的每个的相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 的电机的反馈信号组,并且使用所述控制器;
为电机生成对应于输入转矩指令 T^* 的值的直和正交指令相电流 I_d^* 、 I_q^* ;
确定总指令电流 $I_s = [(I_q^*)^2 + (I_d^*)^2]^{1/2}$;
产生负序电流 $I_{neg} = (1/3)[I_a + (\alpha^2)I_b + (\alpha)I_c]$,其中 $\alpha = e^{j2\pi/3}$;
联合 I_{neg} 和 I_s 以提供标准化的负序电流 $I_{nn} = I_{neg}/I_s$;
将标准化的负序电流 I_{nn} 与预定阈值 INN^* 作比较以确定相电流传感器故障的存在;和在 $I_{nn} > INN^*$ 时执行控制动作。
7. 如权利要求 6 所述的方法,进一步地包括,在 $I_{nn} > INN^*$ 时设置故障标记。
8. 如权利要求 7 所述的方法,进一步地包括,还设置表征故障性质的诊断代码。
9. 如权利要求 6 所述的方法,其中,所述控制动作包括,降低流向电机的相电流中的一个或多个。
10. 一种用于保护电动推进系统不受一个或多个电流传感器的故障影响的方法,所述电流传感器测量进入驱动电机的绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 的相电流,所述电流传感器提供指示电机相电流信号 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述方法包括:
从所述电流传感器接收指示电机相电流信号 I_a 、 I_b 、 I_c ;
从指令输入源接收电机转矩指令 T^* ;
从所述电机接收电机转速 ω_r ;
从向所述电机绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 提供驱动电流的 DC 电源接收直流(DC)电压 V_{dc} ;
使用 T^* 、 ω_r 和 V_{dc} ,获得随时间变化的直轴指令电流 I_d^* 和正交轴指令电流 I_q^* 的值;
确定总指令电流 $I_s = [(I_q^*)^2 + (I_d^*)^2]^{1/2}$ 的值;
确定负序电流 $I_{neg} = (1/3)[I_a + \alpha^2 I_b + \alpha I_c]$ 的值,其中, $\alpha = e^{j2\pi/3}$;
确定标准化的负序电流 $I_{nn} = I_{neg}/I_s$ 的值;和
比较 I_{nn} 与预定阈值 INN^* ,并且,如果 $I_{nn} > INN^*$,就执行控制动作。

防护电机驱动系统以防电流传感器故障的影响

技术领域

[0001] 本发明主要涉及电机驱动系统中的故障防护,并且更具体地涉及对电机相电流传感器故障的识别和补救动作以阻止或减轻对电机驱动系统及其部件的损坏。

背景技术

[0002] 现今,广泛使用由直流(DC)能源供以电力的交流(AC)电机系统。DC能源是蓄电池的车辆电机推进系统是众所周知。固定式DC-AC电机推进系统也是广泛使用的。这类推进系统内使用的控制系统监测和控制流入多相电机的每个相的电流。这类系统中使用的电流传感器不是一直如所期望的那样精确,或者,它们的精确度可能随着系统老化的时间而变化。现有技术的电机控制系统不能区别正常的操作误差与由电流传感器故障引起的误差。当传感器误差或故障未被发现时,系统控制器和/或推进电机本身会受到损坏并且系统用户可能处于危险条件下。

[0003] 因此,期望提供一种改善的控制系统和方法,用于检测由传感器故障引起的相电流传感器误差,并且在适当的情况下,采取补救动作。另外,期望的是,用于检测这类传感器误差和采取补救动作的设备和方法是简单的、耐用可靠的且适合于对现有系统的改造。此外,本发明的其它的合乎需要的要素和特征将通过随后的详细说明和附上的权利要求变得明显,参照附图以及前述的技术领域和背景技术。

发明内容

[0004] 提供方法和设备用于检测多相电机(26)中的相电流传感器(38)故障以及采取适当动作。接收或测量电机(26)的输入转矩指令 T^* (43)和包括电机(26)的每个相的相电流 I_x 在内的反馈信号组(60),为电机(26)生成对应于输入转矩指令 T^* 的一个值的直和正交指令相电流 I_d^* 、 I_q^* ,生成总指令电流 $I_s = [(I_q^*)^2 + (I_d^*)^2]^{1/2}$,从感测到的相电流计算负序电流 I_{neg} ,此处,对于三个相是 $I_{neg} = (1/3)[I_a + (\alpha^2)I_b + (\alpha)I_c]$,式中, $\alpha = e^{j2\pi/3}$, I_{neg} 和 I_s 联合提供标准化的负序电流 $I_{nn} = I_{neg}/I_s$,该标准化的负序电流 I_{nn} 与预定阈值 I_{nn}^* 作比较以确定相电流传感器(38)故障的存在,并且在 $I_{nn} > I_{nn}^*$ 时执行控制动作。该控制动作可以包括下列的一个或多个,设置故障标记和/或设置诊断代码以表征故障的性质,和/或,降低相激励电压 V_x 和/或相激励电流 I_x 以防止对电机和/或向电机提供能源的推进系统的其它元件的损坏,和/或,提供软或硬关闭以最小化对与包含电机的推进系统有关的任何人员、材料或工艺的风险。本发明的实施例可以针对现有推进系统而进行改型。

[0005] 本发明还提供了以下方案:

1. 一种用于检测多相电机中的相电流传感器故障的方法,该方法包括:
接收输入转矩指令 T^* 并且测量包括电机每个相的相电流 I_x 的电机的反馈信号组;
为电机生成对应于输入转矩指令 T^* 的值的直和正交指令相电流 I_d^* 、 I_q^* ;
确定总指令电流 $I_s = f(I_d^*, I_q^*)$;

产生负序电流 $I_{neg} = f(I_x)$;

联合 I_{neg} 和 I_s 以提供标准化的负序电流 $I_{nn} = I_{neg}/I_s$;

将标准化的负序电流 I_{nn} 与预定阈值 INN^* 作比较以确定相电流传感器故障的存在;和在 $I_{nn} > INN^*$ 时执行控制动作。

[0006] 2. 如方案 1 所述的方法,其中,所述控制动作包括在 $I_{nn} > INN^*$ 时设置故障标记。

[0007] 3. 如方案 2 所述的方法,其中,所述控制动作包括设置表征故障性质的诊断代码。

[0008] 4. 如方案 1 所述的方法,其中,所述控制动作包括,降低流向电机的相电流 I_x 。

[0009] 5. 如方案 1 所述的方法,其中,所述控制动作包括,降低施加给电机的相电压 V_x 。

[0010] 6. 一种用于检测三相电机中的相电流传感器故障的方法,该方法可由适于控制电机的电机控制器执行,并且包括:

测量输入转矩指令 T^* 并且设置包括电机三个相的每个的相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 的电机的反馈信号组,并且使用所述控制器;

为电机生成对应于输入转矩指令 T^* 的值的直和正交指令相电流 I_d^* 、 I_q^* ;

确定总指令电流 $I_s = [(I_q^*)^2 + (I_d^*)^2]^{1/2}$;

产生负序电流 $I_{neg} = (1/3)[I_a + (\alpha^2)I_b + (\alpha)I_c]$,其中 $\alpha = e^{j2\pi/3}$;

联合 I_{neg} 和 I_s 以提供标准化的负序电流 $I_{nn} = I_{neg}/I_s$;

将标准化的负序电流 I_{nn} 与预定阈值 INN^* 作比较以确定相电流传感器故障的存在;和在 $I_{nn} > INN^*$ 时执行控制动作。

[0011] 7. 如方案 6 所述的方法,进一步地包括,在 $I_{nn} > INN^*$ 时设置故障标记。

[0012] 8. 如方案 7 所述的方法,进一步地包括,还设置表征故障性质的诊断代码。

[0013] 9. 如方案 6 所述的方法,其中,所述控制动作包括,降低流向电机的相电流中的一个或多个。

[0014] 10. 如方案 6 所述的方法,其中,所述控制动作包括,降低施加给电机的电压 V_a 、 V_b 、 V_c 。

[0015] 11. 一种用于保护电动推进系统不受一个或多个电流传感器的故障影响的方法,所述电流传感器测量进入驱动电机的绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 的相电流,所述电流传感器提供指示电机相电流信号 I_a 、 I_b 、 I_c ,所述方法包括:

从所述电流传感器接收指示电机相电流信号 I_a 、 I_b 、 I_c ;

从指令输入源接收电机转矩指令 T^* ;

从所述电机接收电机转速 ω_r ;

从向所述电机绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 提供驱动电流的 DC 电源接收直流(DC)电压 V_{dc} ;

使用 T^* 、 ω_r 和 V_{dc} ,获得随时间变化的直轴指令电流 I_d^* 和正交轴指令电流 I_q^* 的值;

确定总指令电流 $I_s = [(I_q^*)^2 + (I_d^*)^2]^{1/2}$ 的值;

确定负序电流 $I_{neg} = (1/3)[I_a + \alpha^2 I_b + \alpha I_c]$ 的值,其中, $\alpha = e^{j2\pi/3}$;

确定标准化的负序电流 $I_{nn} = I_{neg}/I_s$ 的值;和

比较 I_{nn} 与预定阈值 INN^* ,并且,如果 $I_{nn} > INN^*$,就执行控制动作。

[0016] 12. 如方案 11 所述的方法,进一步地包括,如果 $I_{nn} > INN^*$,就降低流向电机绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 的驱动电流。

[0017] 13. 如方案 12 所述的方法,其中,通过把电压 V_{dc} 转化成施加给电机的各个绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 的不同相 A、B、C 的三个随时间变化的电压 V_a 、 V_b 、 V_c ,获得来自 DC 电压源的流向电机绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 的驱动电流,并且其中,通过降低 V_a 、 V_b 、 V_c 来降低流向电机绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 的驱动电流。

[0018] 14. 如方案 13 所述的方法,其中,施加给各个电机绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 的不同相 A、B、C 的三个随时间变化的电压 V_a 、 V_b 、 V_c 取决于转矩指令 T^* ,并且,如果 $I_{nn} > I_{NN}^*$,就撤销 T^* 以降低 V_a 、 V_b 、 V_c 。

[0019] 15. 如方案 14 所述的方法,其中,至少部分地由操作者致动的节流位置导出所述转矩指令 T^* 。

[0020] 16. 如方案 11 所述的方法,进一步地包括,当 $I_{nn} > I_{NN}^*$ 时,执行控制动作以在存储器中设置误差标记。

[0021] 17. 如方案 16 所述的方法,其中,执行控制动作的步骤包括在存储器中设置误差诊断代码。

[0022] 18. 如方案 16 所述的方法,进一步地包括,当 $I_{nn} > I_{NN}^*$ 时,设置故障标记或指示器,然后降低相电压 V_a 、 V_b 、 V_c 。

[0023] 19. 如方案 11 所述的方法,进一步地包括,当 $I_{nn} > I_{NN}^*$ 时,降低进入绕组 W_a 、 W_b 、 W_c 的一个或多个相电流。

[0024] 20. 如方案 11 所述的方法,进一步地包括,当 $I_{nn} > I_{NN}^*$ 时,关闭驱动电机。

附图说明

[0025] 下文将连同下列图形一起描述本发明,其中,相同的数字代表相同的元件,并且

图 1 示出典型的 DC-AC 电机推进系统,使用了现有技术中已知的元件连同按照图 2 和 3 示出的本发明实施例工作的元件;

图 2 按照本发明实施例示出示意工作图,解释图 1 的控制器如何工作,包括用于检测图 1 的推进系统中的传感器误差或故障的算法;和

图 3 是按照本发明的又一实施例的流程图,解释用于检测图 1 和 2 所示推进系统中的传感器故障或误差和保护系统不受到可能由这些误差或故障而引起的损坏的方法。

具体实施方式

[0026] 下列详细说明本质上仅仅是示范性的并且不意图限制本发明或本发明的应用和使用。此外,不意图受到前述技术领域、背景技术、发明内容或之后的详细说明中出现的任何明确或暗示理论的限制。电流传感器故障能够导致电流传感器之间的重大增益/偏移误差,这在感测电流中引起三相失衡。在转矩或电流模式控制的情况下,这些相中的实际电流可能比感测电流大很多。人们发现,由于感测电流中的三相失衡,负序电流出现,这能用于保护系统。

[0027] 图 1 示出典型的 DC-AC 电机推进系统 20、80,使用了现有技术中已知的元件连同按照图 2 和 3 示出的本发明实施例工作的元件。当图 1 的系统按照本发明实施例执行图 2 和 3 示出的算法和方法时,该系统以不同方式工作并且获得现有技术中未发现的结果。采用的约定是,把按照现有技术工作的图 1 的现有技术元件的组合看成“系统 20”,例如基于包

含现有技术存储器 33,把有些类似但重新编程的不同工作的元件的组合看成“系统 80”,其按照本发明实施例以图 2 和 3 所示方式实行。为推进系统 20、80 所共有的那些元件一齐论述。推进系统 20、80 包括 DC 电源 22、指令输入源 24、电机 26 和控制系统 28。控制系统 28 接收:(i) 经由线路 23、231 来自 DC 电源 22 例如蓄电池的 DC 能 V_{dc} , 和(ii) 经由线路 25 来自指令输入源 24 的指令输入(例如指令转矩 T^*), 并且提供电力以控制电机 26 的运转。输入指令源输入 24 中的用户定制的指令输入告诉推进系统 20、80 干什么,例如,电机 26 应当如何运转。

[0028] 控制系统 28 响应于从输入指令源 24 收到的输入指令(多个)把从 DC 电源 22 收到的 DC 能转化为 AC 能并且经由线路 37 把适当相和大小的 AC 能输送给电机 26。为了便于说明,假定电机 26 是具有电机相 A、B、C 的三相电机,但是带有更多或更少相的其它 AC 电机也可以与系统 80 一起使用。控制系统 28 包括控制器 30、驱动模块 34、电力切换模块 36 和分别用于电机 26 的相 A、B 和 C 的电流测量元件 38A、38B、38C (一起为 38)。驱动模块 34 是传统的。驱动模块 34 经由总线 31 接收控制器 30 产生的相控制信号,并且做好准备,无论可能需要什么电平移动,都将上述驱动控制信号转化成适合电力切换模块 36 用的电平,把它们经由线路 35 发送,例如,对于相 A,经由线路 351,对于相 B,经由线路 352,对于相 C,经由线路 353。上述的相控制信号也称作脉宽调制(PWM)信号。对于三相电机,电力切换模块 36 通常包括六个电力切换装置(例如每个相有 2 个),这些电力切换装置在由从驱动模块 34 收到的 PWM 信号确定的适当的时间在局部基准电压(例如电机)与 DC 电源 23 提供的 V_{dc} 之间切换相 A、B、C。电力切换模块 36 提供分别在电机相 A、B、C 上的脉冲相电压 V_a 、 V_b 、 V_c , 例如,在线路 371 上的电机相 A 的相电压 V_a ,在线路 372 上的电机相 B 的相电压 V_b 和在线路 373 上的电机相 C 的相电压 V_c 。上述的电力切换模块是本领域公知的。

[0029] 根据需要的推进或驱动系统的类型,经由线路 25 来自接口 24 的指令输入(多个)可以包括的输入是规定了,例如但不意图限于,希望电机 26 提供的转矩 T^* 或希望电机 26 提供的以转或弧度每单位时间为单位的电机 26 的转速 ω_r^* 或其它一些对推进系统 20、80 的使用有重大影响的参数。为了便于说明但不意图限制,此后假定指令输入源 24 提供期望转矩指令 T^* 给推进系统 20、80。为了便于描述,把星号添加在参数或变量上以表征上述变量或参数是与实际或测得值相反的指令或参考值。例如,变量或参数 T^* 用来表征期望或指令转矩值,而不带星号的变量或参数 T 用来表征实际转矩值。类似地, ω_r^* 指的是电机 26 的指令转子转速, ω_r 指的是电机 26 的相应的实际转子转速。全文都遵循这个约定。

[0030] 电流传感器 38A、38B、38C (共同为 38)测量从 DC 电源 22 经由电力切换模块 36 和线路 37 分别流向电机 26 的相 A、B、C 的电流 I_a 、 I_b 、 I_c (共同为 I_x)。代表这些测得值的信号经由线路 39 馈给控制器 30,例如,代表 I_a 的测得值在线路 391 上,代表 I_b 的测得值在线路 392 上,代表 I_c 的测得值在线路 393 上。然而,对本领域熟练的人员将懂得,它们不是线路 39 中流向控制器 30 的真实电流,而仅仅是表征实际上流经线路 37 到电机 26 的真实电流 I_a 、 I_b 、 I_c 的大小的信号。通常或共同地,术语 I_x 用来指的是相电流,术语 V_x 用来指的是相电压(并且信号代表上述相电流或电压),其中, x 采用适于在使用的电机相数的值。例如,对于双相机, x 将采用两个值(例如, a 、 b),对于三相机器是三个值(例如, a 、 b 、 c),对于六相机是六个值,诸如此类。

[0031] 控制器 30 具有输入/输出接口(I/O)部件 301-306、处理器 32 和存储器 33、33'。

存储器 33 用来指的是控制按照现有技术操作的系统 20 的操作的存储器,存储器 33' 用来指的是控制按照图 2-3 操作的系统 80 的操作的存储器。处理器 32 可以是单处理器、多核处理器或分担控制器 30 的计算负荷的多个准独立处理器。I/O 接口部件 301-306 分别经由线路或总线 3011、3021、3031、3041、3051、3061 与处理器 32 通信。输入接口部件 301 接收例如来自指令输入源 24 经由线路或总线 25 的 T^* 输入。输入接口部件 302 经由线路或总线 23 和 231 从 DC 电源 22 接收 V_{dc} 。输入接口部件 302 在线路或总线 39 上分别从电流传感器 38A、38B、38C 接收代表 I_a 、 I_b 和 I_c 的信号。输入接口部件 304 经由线路或总线 261 从电机 26 接收转子角度信息 θ_r 。输入接口部件 304 经由线路或总线 261 从电机 26 接收转子角度信息。输入接口部件 305 经由线路或总线 262 从电机 26 接收转子转速信息 ω_r 。输入接口部件 301-305 做好准备,无论可能需要什么电平移动或其它信号操作,都使上述信息与处理器 32 兼容。输出接口部件 306 经由线路或总线 3061 从处理器 32 接收电机相致动信号,并且做好准备,无论可能需要什么电平移动或其它信号操作,都使上述指令经由线路或总线 31 对驱动模块 34 有用。存储器 33、33' 和处理器 32 由线路或总线 331 连接。为了便于说明,处理器 32 和存储器 33、33' 在图 1 中示为由线路 331 连接的独立元件,但是在其它实施例中,他们可以合并。任一布置都可用。在本发明的一个实施例中,控制器 30 接收关于 V_{dc} 、 I_a 、 I_b 、 I_c 、 θ_r 和 ω_r 的反馈信息,将该信息与储存在存储器 33' 中的关于推进系统 80 的性质的信息组合并且使用连同图 2-3 描述的也便利地储存在存储器 33' 中的算法,检测是否已经出现传感器误差或故障并且采取适当动作以警告系统用户和 / 或保护推进系统 80 不受损坏。虽然图 1 描绘的推进系统 20、80 的独立元件的大部分可能是技术中过时的,但是,上述元件与连同图 2-3 描述且例如储存在存储器 33' 或别处的算法的组合提供了新的、改进了的系统 80 和方法 800,能够检测传感器故障并采取补救动作。

[0032] 图 2 示出简图 40,带有控制器功能图 42 和算法 44。功能图 42 解释图 1 的控制器 30 如何产生出现在总线或线路 31 上给驱动模块 34 的信号并且最终使电力切换模块 36 能够向图 1 的电机 26 的相 A、B、C 提供电压 V_a 、 V_b 、 V_c 和电流 I_a 、 I_b 、 I_c 。算法 44 使控制器 30 能够检测图 1 的推进系统 80 中的电流传感器误差或故障并采取补救动作。

[0033] 多相电机可以用数学的方式说成具有两个磁对称轴,即,直轴(d)和正交轴(q),这将是本领域普通技术人员理解的。上述多相电机的工作可以用调整成以提供直轴定子磁通量 ψ_d^* 、 ψ_d 的相应的直轴电流 I_d^* 、 I_d 和调整成提供正交定子磁通量的正交电流 ψ_q^* 、 ψ_q 的正交电流 I_q^* 、 I_q 表示,在此,如前所述,有 * 的表征指令量,没 * 的表征实际或测得量, I_d 和 I_q 例如用方程式表示:

$$I_d = (2/3) [(I_a)(\cos \theta_r) + (I_b)(\cos (\theta_r - 2\pi/3)) + (I_c)(\cos (\theta_r + 2\pi/3))] \quad \text{方程式 1}$$

$$I_q = (2/3) [(I_a)(\sin \theta_r) + (I_b)(\sin (\theta_r - 2\pi/3)) + (I_c)(\sin (\theta_r + 2\pi/3))] \quad \text{方程式 2}$$

式中, θ_r 是转子角度。如果使用实际或测得电流 I_a 、 I_b 、 I_c 和转子角度 θ_r , 结果就提供 I_d 和 I_q (即没有 *), 如果使用指令电流 I_a^* 、 I_b^* 、 I_c^* 和转子角度 θ_r , 结果就提供 I_d^* 和 I_q^* 。在实践中, T 、 V_{dc} 、 ω_r 与 I_a 、 I_b 、 I_c 之间的物理关系是通过试验确定的, 计算 I_d 和 I_q 并放在例如查询表中或其当量在存储器例如图 1 的存储体 33、33' 中。于是, 如图 2 的框 46 所示, 对于输入指令 43 (例如 T^*)、 V_{dc} 和 ω_r 的任意指定组合, 就能够从查询表确定

I_d^* and I_q^* 。

[0034] 功能图 42 包括的部分 48 具有:(i) 组合器 491、492 (共同为 49), 它们接收导线 4911 上的输入 I_q^* 、导线 4912 上的输入 I_q 、导线 4921 上的输入 I_d^* 和导线 4922 上的输入 I_d^* ; (ii) 比例积分 (PI) 控制器 501、502 (共同为 50), 它们分别连接到组合器 49 的输出; (iii) 组合器 511、512 (共同为 51), 它们在导线 5111 和 5121 上接收 PI 控制器 50 的输出, 并且在导线 5112 上输入 $\{(\omega_r)(\psi_d^*) + (I_q^*)(R_s)\}$ 且在导线 5122 上输入 $\{-(\omega_r)(\psi_q^*) + (I_d^*)(R_s)\}$, 式中, R_s 是电机 26 的定子电阻; 和 (iv) d、q - a、b、c 转化器 52, 其接收组合器 511、512 的输出、导线 521 上的输入 ω_r 和导线 522 上的输入 θ_r , 并且产生在输出 523 处的信号 V_a^* 、在输出 524 处的信号 V_b^* 和在输出 525 处的信号 V_c^* , 从而得到在线路或总线 31 (见图 1) 上的信号, 足以在电力切换模块 36 的输出处产生线路 37 上的 V_a 、 V_b 、 V_c 以提供电流 I_a 、 I_b 、 I_c 给电机 26 的相 A、B、C。控制器 30 的规定的另一路部分 42 提供在输出 541 处的脉宽调制 (PWM) 信号 D_a 、在输出 542 处的信号 D_b 和在输出 543 处的信号 D_c (共同为 54), 这些在通过驱动模块 34 馈给图 1 的电力切换模块 36 时在电机 26 的相 A、B、C 上产生 V_a 、 V_b 、 V_c 。

[0035] 给控制器 30 的反馈信号 60 可以包括输入 601 上的相电流信号 I_a 、输入 602 上的相电流信号 I_b 、输入 603 上的相电流信号 I_c 、输入 604 上的图 1 所示 DC 电压源 22 的电压 V_{dc} 、输入 605 上的测得转子转速 ω_r 和输入 606 上的测得转子角度 θ_r 。因此, 控制器 30 处理的其它信号可以包括图 1 的电机 26 的直轴定子磁通量 (ψ_d^*) 和正交定子磁通量 (ψ_q^*) 以及其 (R_s), 这些值可以储存在图 1 的存储器 33、33' 或者由处理器 32 根据储存在存储器 33、33' 中的关于电机 26 的数据很容易地算出。如简图 40 的部分 48 所示, 控制器 30 适于处理信号 43 和 60 以产生用于电机 26 的控制的相电压 V_a 、 V_b 和 V_c 。

[0036] 控制器 30 还使用其它传统的 AC 电机控制变量。正如本领域普通技术人员将好理解的, 电压和电流可以表示成 d-q 坐标系上的矢量。因此, 控制器 30 适合于确定电流指令值 I_d^* 、 I_q^* 即提供给相应的 d 轴和 q 轴的电流和电压指令值 V_d^* 、 V_q^* 即应用到 d 轴和 q 轴上的电压值, 基于输入 431 上的转矩指令信号 (例如 T^*) 43 和储存在存储器 33、33' 中的关于电机 26 的数据。图 42 的块 46 表明, 通过向那里接收输入 461 上的 T^* 、向那里接收输入 462 上的 V_{dc} 以及向那里接收输入 463 上的 ω_r , 上述变量与查询表一起用于提供块 46 的输出 464 上的 I_q^* 和块 46 的输出 465 上的 I_d^* , 这些分别经由线路 4641、4651 传递给部分 44 的块 441。类似地, I_a 经由线路 421, I_b 经由线路 422, I_c 经由线路 423 传递给部分 44 的块 442。尽管为了简单起见在图 1 和 2 中未示出, 但是, 本领域普通技术人员将理解, 存在各种方式用于检测或测量 d-q 电压和电流值, 包括使用解算器、电流传感器、电压传感器等等。控制器 30 最终通过接口 306 输出一组脉宽调制 (PWM) 信号 54 (例如输出 541 上的 D_a 、输出 542 上的 D_b 和输出 543 上的 D_c) 给驱动模块 34 和电力切换模块 36, 用于电机 26 的转速和转矩控制。

[0037] 在图 2 的部分 44 中示意性地示出按照本发明的电流传感器故障检测算法, 其中, 相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 分别经由线路 421、422、423 进行传递, 直和正交指令电流 I_d^* 和 I_q^* 分别经由线路 4641、4651 从部分 42 传递到算法 44。图 3 是流程图, 示出方法 800, 用于检测图 1 示出的推进系统 80 中的电流传感器 38 的故障或误差并且保护系统 80 不受到由上述传感器误差或故障引起的潜在损坏。一起论述部分 44 和图 3。方法 800 从开始 801 和初

始步骤 802 开始,其中,获得针对指示相电流 I_x 和指令电流 I_{q*} 、 I_{d*} 的信号。伴随有,图 1 的控制器 30 或图 2 的部分 42 接收:(i)分别对应于图 1 的电流传感器 38 (例如 38A、38B、38C)的信号输出 I_x (例如 I_a 、 I_b 、 I_c) 的信号;(ii)对应于来自 DC 电源 22 的指令输入源 24 的转矩指令 T^*43 的信号;(iii)来自电机 26 或其它电机转速源的转子转速信号 ω_r ;和(iv)来自电机 26 或其它转子角度源的转子角度信号 θ_r 。在控制器 30 内产生对应于正交和直指令电流 I_{q*} 和 I_{d*} 的信号,例如但不意图限于,通过从存储器 33' 的查询表中提取,如图 2 的块 46 所示。在方法步骤 804 处,把上面提到的值储存在例如存储器 33' 或推进系统 80 能够存取的任何其它存储器中。

[0038] 在图 3 的方法步骤 806 和图 2 的块 441 中,按照下列方程式计算总指令电流 $I_s = f(I_{q*}, I_{d*})$,

$$I_s = [(I_{q*})^2 + (I_{d*})^2]^{1/2} \quad \text{方程式 3}$$

并且,结果 I_s 出现在块 441 的输出 4411 上并且理想地储存在存储器例如图 1 的存储器 33' 中。在图 3 的方法步骤 808 和图 2 的块 442 中,计算负序电流 $I_{neg} = f(I_x)$,在三相系统的情况下,按照下列方程式:

$$I_{neg} = (1/3)[I_a + (\alpha^2)I_b + (\alpha)I_c], \text{ where } \alpha = e^{j2\pi/3} \quad \text{方程式 4}$$

并且, I_{neg} 出现在输出 4421 上并且理想地储存在存储器例如图 1 的存储器 33' 中。当有重大传感器误差时,由不平衡的三相电流生成负序电流 I_{neg} 。可以以按次序或大致并行的方式执行步骤 806、808 和块 441、442,取决于可用处理器的数量。

[0039] 在图 3 的方法步骤 810 和图 2 的块 443 中,使 I_{neg} 标准化,也就是说,按照下列方程式计算标准化负序电流 I_{nn} :

$$I_{nn} = I_{neg}/I_s \quad \text{方程式 5}$$

并且, I_{nn} 出现在块 443 的输出 4431 上。然后执行图 3 的询问步骤 812 或图 2 的“测试”块 444,其中,确定 I_{nn} 是否大于储存在存储器例如图 1 的存储器 33' 中的预定阈值 INN^* 。当没有重大传感器误差时, I_{nn} 接近零。如果询问 $I_{nn} > INN^*$ 的结果为“NO”,表明没有重大传感器误差,那么方法 800 如图 3 所示例如沿着路径 813 返回到步骤 802-810 进行数据更新。或者,如图 2 所示, NO 标识出现在测试块 444 的输出 4441 上以“重复”图 2 的块 445,并且,从图 2 的块 445 出来的箭头 446 表征使用新数据重复块 441-444。理想地,选择 INN^* 以考虑与电流传感器 38 相关的制造公差。例如,如果已知传感器 38 具有大约 $\pm 7\%$ 的单个误差范围,那么,理想地,选择 INN^* 以适应有些大的传感器啊,也许提供 10-15% 的幅度。如果需要承受一个以上的传感器中的误差,那么,可以把 INN^* 设定为单个传感器误差范围的数倍,也许提供 25-30% 的幅度。只要 $I_{nn} < INN^*$,那么,询问 812 的结果和测试块 444 保持“NO”并且返回 802-812-813-802 等和 441-444 等,继续。

[0040] 如果询问 812 的结果是“YES (是)”,表明已经检测到重大传感器误差,那么,方法 800 可沿着路径 815-1 前进到步骤 816,在此,在存储器例如存储器 33' 中设置故障或误差标记。方法 800 可以沿着路径 817-1 前进到结束 820。在另一实施例中,方法 800 可以从询问 812 的结果“YES”沿着 815-2 前进到 818,在此,执行控制动作,例如,减小 I_a , I_b , I_c 以排除对电力切换模块 36 和 / 或电机 26 的损坏,或由于其它原因,并且然后沿着路径 819 到结束 820。在又一另外的实施例中,方法 800 可以经由路径 815-1 前进到步骤 816,在此,设置误差或故障标记,并且然后沿着路径 817-2 前进到步骤 818,在此,执行控制动作,然后

沿着路径 819 到结束 820。上述的任一都是可用的。上述动作也在图 2 中示出,当“YES”结果出现在测试块 44 到块 448 的输出 4442 上时,块 448 示出结果“如果为 YES,设置故障标记和 / 或执行控制动作”。

[0041] 在存储器中设置误差故障标记用于保护推进系统 80 和 / 或系统 80 的操作者,不管是否紧接着有步骤 18 关闭系统 80 或减少提供给电力切换模块(PSM) 36 且得到向电机 26 的相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 的电流驱动指令。如果 INN^* 的值设在低于可引起对 PSM 36 或电机 26 的损坏的相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 的水平,那么,系统 80 的操作可以继续,例如,同时,控制器 30 检查 I_{nn} 的进一步变化,或者,同时,警告灯、喇叭或其它警告信号反馈给系统操作者,例如,通过在指令输入源 24 附近公布警告。这个方法尤其在系统 80 的无预兆关闭(例如调到 OFF)本身可能对与系统 80 有关的人员或设置或工艺有风险时有用。因此,算法 44 和方法 800 能够适应宽种类的失效 - 安全关闭或减慢或失效 - 软协议,它们排除或最小化对系统 80 的敏感部件的损坏,例如且不限于仅仅是 PSM 36 和电机 26,同时还适应与推进系统 80 相关的人员或产品或材料的安全需求。例如,如果推进系统 80 与车辆相关,方法 800 能够设置故障标记,警告车辆驾驶员已经出现传感器故障,并且,如果上述故障大或持续,就建议驾驶员立刻采取动作以到达安全停止位置。在另一例子中,在推进系统例如驱动循环泵冷却有害材料时,控制动作可以包括开动备用冷却系统或获得以相同或更小的水平的继续运行以允许实现手动关闭或操作人员安全离开这个区域。

[0042] 尽管在前面的详细描述中已经给出了至少一个示范实施例,但是应当意识到存在大量的变形。还应当意识到,释放实施例仅仅是例子,并且不意图以任何方式限制本发明的范围、应用或构造。相反地,前面的详细描述将给本领域技术人员提供方便的指导来实施示范实施例。应当理解,在不脱离所附权利要求及其法定等同物限定的发明范围的情况下,能够对元件的功能和布置做出各种改变。

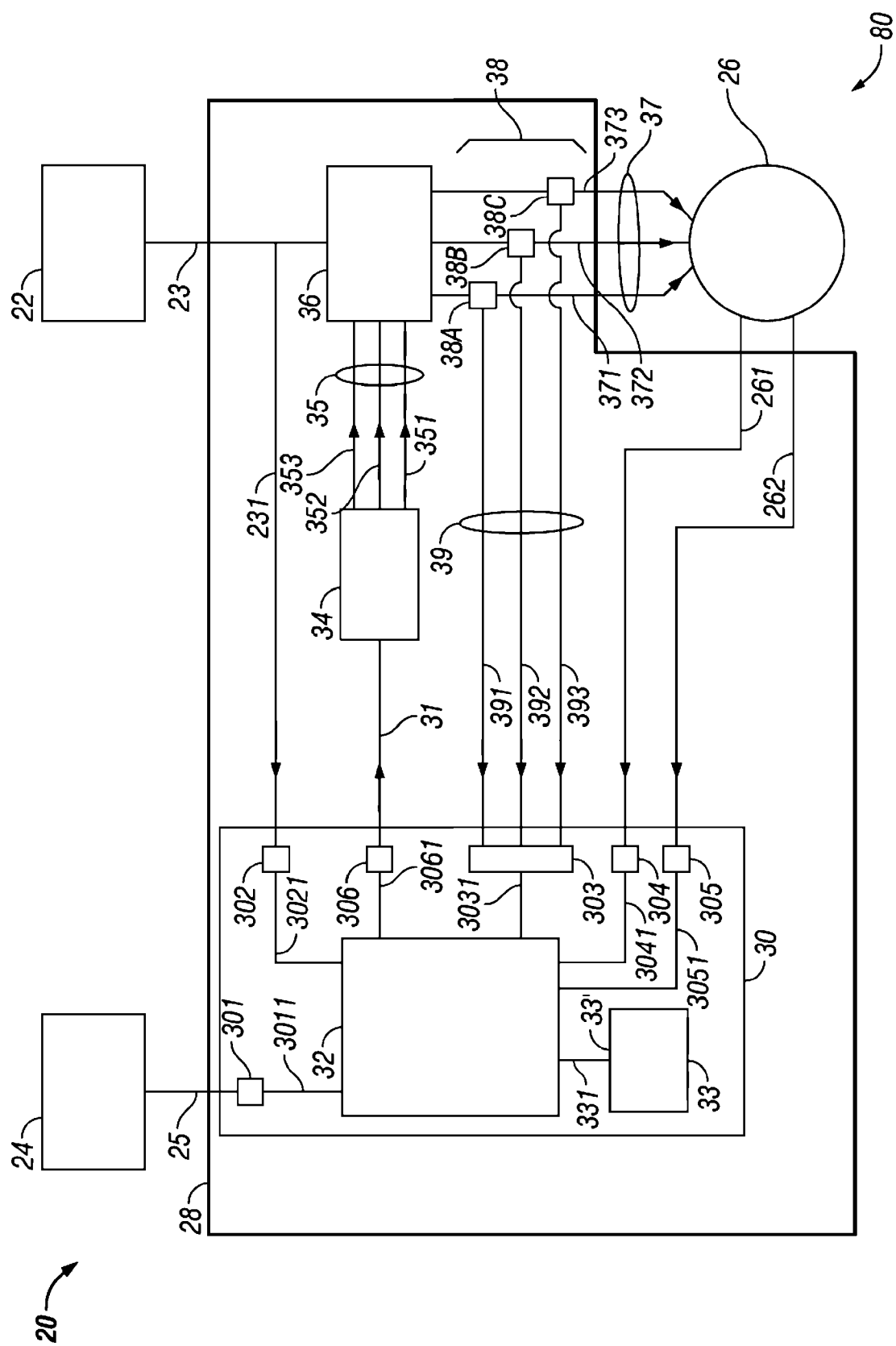


图 1

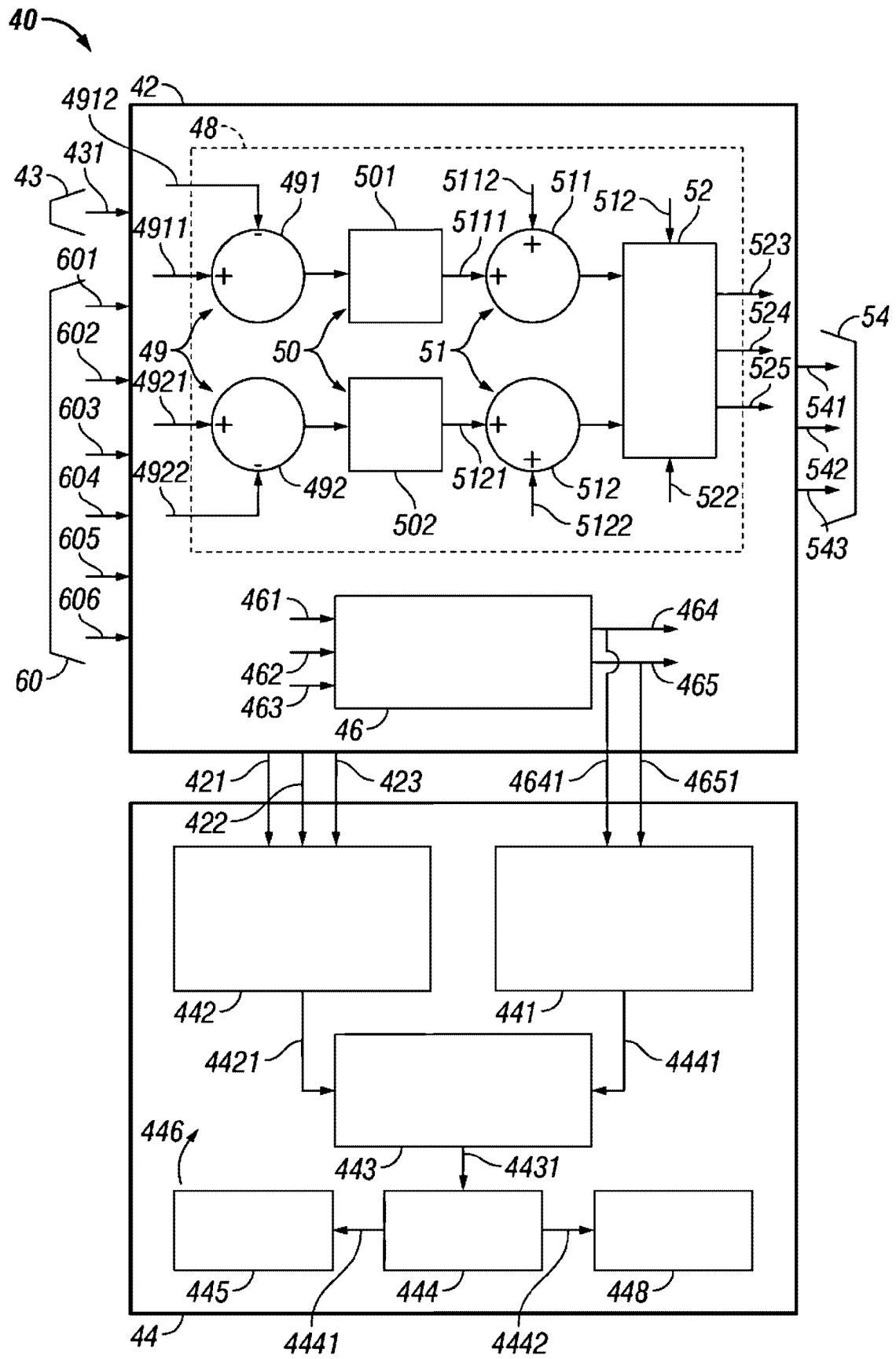


图 2

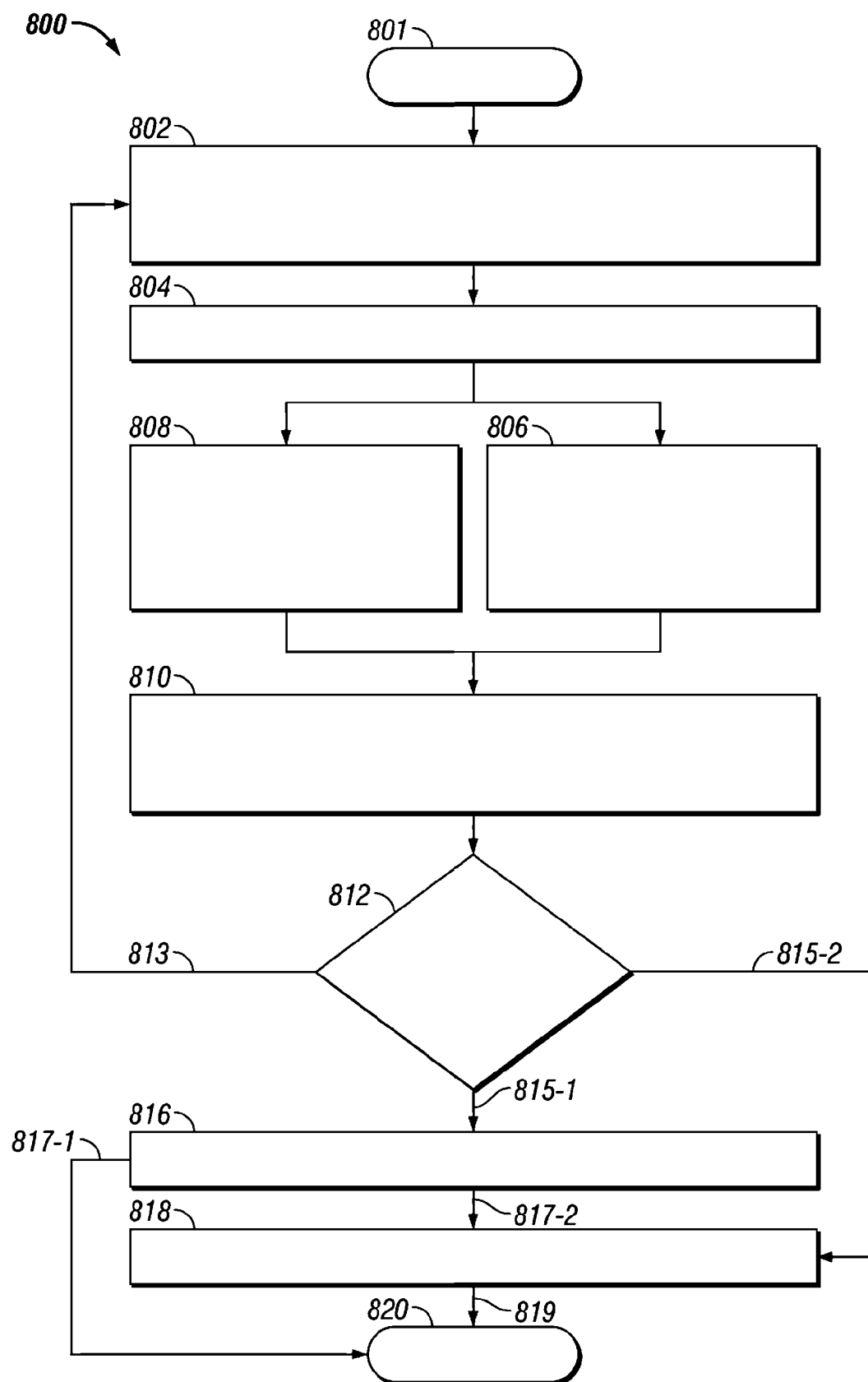


图 3