

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利申请公开说明书

*B60K 28/16 (2006.01)*  
*B60W 10/06 (2006.01)*  
*B60W 10/18 (2006.01)*  
*B60W 30/18 (2006.01)*

[21] 申请号 200480021767.7

[43] 公开日 2006年9月6日

[11] 公开号 CN 1829621A

[22] 申请日 2004.7.26

[21] 申请号 200480021767.7

[30] 优先权

[32] 2003.7.30 [33] JP [31] 203736/2003

[86] 国际申请 PCT/JP2004/011004 2004.7.26

[87] 国际公布 WO2005/012025 英 2005.2.10

[85] 进入国家阶段日期 2006.1.26

[71] 申请人 丰田自动车株式会社

地址 日本爱知县

[72] 发明人 本美明

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

代理人 马江立 吴鹏

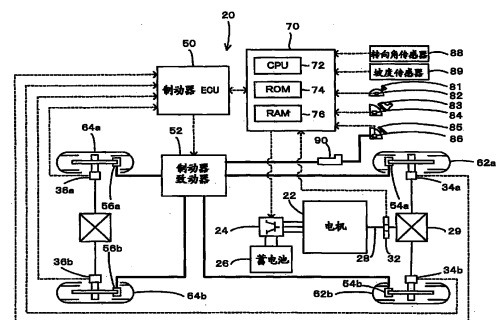
权利要求书 4 页 说明书 23 页 附图 18 页

## [54] 发明名称

车辆控制方法

## [57] 摘要

本发明涉及一种车辆控制方法。响应检测到的由左右车轮(62a, 62b)中一个车轮的空转导致的左右车轮(62a, 62b)发生的打滑, 本发明的控制技术限制从电机(22)输出至驱动轴(28)的转矩, 同时致动对应于空转的车轮的液压制动器(54a)或(54b)以输出制动转矩, 从而将电机(22)的输出转矩基本上相等地分配给左右车轮(62a, 62b)。这种设置可满意地提高左右车轮(62a, 62b)在不同摩擦系数的路面上行驶时车辆的启动性能和加速性能。



1. 一种具有能够将驱动力输出至与左右车轮相连的驱动轴的驱动力输出装置的车辆，所述车辆包括：

能够将机械制动力输出至所述左右车轮中每个车轮的机械制动装置；  
检测由车轮空转导致的所述左右车轮中每个车轮的打滑的打滑检测单元；以及

控制器，该控制器响应通过所述打滑检测单元检测到的由所述左右车轮中一个车轮的空转导致的打滑，驱动和控制所述动力输出装置以限制输出至所述驱动轴的驱动力，同时致动和控制所述机械制动装置以将机械制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。

2. 根据权利要求1所述的车辆，其特征在于，所述控制器致动和控制所述机械制动装置以将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮，从而将从所述动力输出装置输出至所述驱动轴的驱动力基本上相等地分配给所述左右车轮。

3. 根据权利要求1或2所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：  
测量或估计路面坡度的路面坡度测量估计单元，

其中，所述控制器，响应检测到的所述左右车轮中一个车轮的空转的至少收敛的趋势，致动和控制所述机械制动装置，以基于所测量或估计的路面坡度将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。

4. 根据权利要求3所述的车辆，其特征在于，所述路面坡度测量估计单元基于所述车辆的加速度和从所述动力输出装置输出的驱动力估计与在沿路面方向施加到所述车辆上的力平衡的平衡力作为路面坡度；以及

所述控制器计算与从所述动力输出装置输出至所述驱动轴的驱动力相对于所估计的平衡力的不足相对应的补充制动力，并致动和控制所述机械制动装置以将包括所计算的补充制动力的总制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。

5. 根据权利要求1或2所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：

设定输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力的上限的制动力上限设定单元，

其中，所述控制器致动和控制所述机械制动装置以将在所述上限的设定范围内的制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。

6. 根据权利要求5所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：  
测量车速的车速传感器，

其中，所述制动力上限设定单元基于所测量的车速设定制动力的上限。

7. 根据权利要求5所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：  
测量或估计路面坡度的路面坡度测量估计单元，

其中，所述制动力上限设定单元基于所测量或估计的路面坡度设定制动力的上限。

8. 根据权利要求1或2所述的车辆，其特征在于，在满足预定的执行条件时，所述控制器致动和控制所述机械制动装置以将机械制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。

9. 根据权利要求8所述的车辆，其特征在于，所述预定的执行条件包括可向前驱动范围内的档位、加速状态、驱动轴要求的驱动力要求不低于预设水平、以及制动断开状态中的至少一个。

10. 根据权利要求8所述的车辆，其特征在于，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，当不满足所述预定的执行条件时，所述控制器终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。

11. 根据权利要求1或2所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：  
测量车速的车速传感器，

其中，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，当所测量的车速超过一阈值时，所述控制器终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。

12. 根据权利要求11所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：  
测量或估计路面坡度的路面坡度测量估计单元，

其中，根据所测量或估计的路面坡度设定所述阈值。

13. 根据权利要求 12 所述的车辆，其特征在于，所述阈值设定为随着作为上坡的路面坡度的增加而减小。

14. 根据权利要求 1 或 2 所述的车辆，其特征在于，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，响应通过所述打滑检测单元检测到的由所述左右车轮中另一个车轮的空转导致的打滑，所述控制器终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。

15. 根据权利要求 1 或 2 所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：检测或估计所述机械制动装置中预定的温度升高的温度升高检测估计单元，

其中，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，响应检测到或估计到的所述机械制动装置中预定的温度升高，所述控制器终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。

16. 根据权利要求 15 所述的车辆，其特征在于，当对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出持续预定的第一时间时，所述温度升高检测估计单元估计为所述机械制动装置中预定的温度升高。

17. 根据权利要求 15 所述的车辆，其特征在于，在终止制动力的输出之后，所述控制器在预定的第二时间内禁止响应所述左右车轮中一个车轮的空转的制动力的输出。

18. 根据权利要求 1 或 2 所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：检测所述左右车轮中每个车轮的锁止的锁止检测单元，

其中，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，响应通过所述锁止检测单元检测到的所述左右车轮中所述空转的一个车轮的锁止，所述控制器终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。

19. 根据权利要求 1 或 2 所述的车辆，其特征在于，所述车辆还包括：分别测量所述左右车轮的转速的转速测量传感器；以及测量或估计转向角的转向角测量估计单元，

其中，所述打滑检测单元基于所测量的左右车轮的转速和所测量或估计的转向角检测所述左右车轮中每个车轮的打滑。

20. 根据权利要求 1 或 2 所述的车辆，其特征在于，所述打滑检测单元，基于所述驱动轴的角加速度和/或作为与所述驱动轴相连的左右车轮的驱动轮的转速与没有驱动力的输出的从动轮的转速之差，检测由驱动轮的空转导致的打滑；以及

响应检测到的由所述驱动轮的空转导致的打滑，所述控制器驱动和控制所述动力输出装置以限制输出至所述驱动轴的驱动力。

21. 一种具有能够将驱动力输出至与左右车轮相连的驱动轴的动力输出装置和能够将机械制动力输出至所述左右车轮中每个车轮的机械制动装置的车辆的控制方法，所述控制方法包括以下步骤：

(a) 检测由车轮空转导致的所述左右车轮中每个车轮的打滑；以及

(b) 响应在所述步骤 (a) 中检测到的由所述左右车轮中一个车轮的空转导致的打滑，驱动和控制所述动力输出装置以限制输出至所述驱动轴的驱动力，同时驱动和控制所述机械制动装置以将机械制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。

## 车辆控制方法

### 技术领域

本发明涉及一种车辆和一种车辆控制方法。更具体地，本发明涉及一种具有能够将驱动力输出至与左右车轮相连的驱动轴的动力输出装置的车辆，以及一种具有能够将驱动力输出至与左右车轮相连的驱动轴的动力输出装置和能够将机械制动力输出至左右车轮中每个车轮的机械制动装置的车辆的控制方法。

### 背景技术

一种已提出的车辆响应检测到的由驱动轮的空转导致的打滑，限制输出至与驱动轮相连的驱动轴的转矩（例如，见日本专利早期公开公报 No. 2001-295676）。当驱动轴的角加速度超过预定的阈值时，该现有技术的车辆检测到驱动轮发生打滑，并限制从与驱动轴相连的电机输出的转矩。

在左右车轮在不同摩擦系数的路面上的车辆的行驶（尤其是启动）期间，如果左右驱动轮中的一个发生空转，则电机转矩不均匀地仅输出至空转的车轮。这降低了驱动车辆的驱动力，从而可能恶化车辆的启动（起步）性能和加速性能。

### 发明内容

因此，本发明的车辆和车辆控制方法旨在提高左右车轮在不同摩擦系数的路面上行驶的车辆的启动性能和加速性能。

为了实现至少部分上述和其它相关目的，本发明采用如下所述的车辆和车辆控制方法。

本发明的一种车辆具有能够将驱动力输出至与左右车轮相连的驱动轴

的动力输出装置，并包括：能够将机械制动力输出至所述左右车轮中每个车轮的机械制动装置；检测由车轮空转导致的所述左右车轮中每个车轮的打滑的打滑检测单元；以及控制器，该控制器响应通过所述打滑检测单元检测到的由所述左右车轮中一个车轮的空转导致的打滑，驱动和控制所述动力输出装置以限制输出至所述驱动轴的驱动力，同时致动和控制所述机械制动装置以将机械制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。

响应通过检测由车轮空转导致的左右车轮中每个车轮的打滑的打滑检测单元所检测到的由于左右车轮中一个车轮的空转导致的打滑，本发明的车辆驱动和控制所述动力输出装置以限制输出至与左右车轮相连的驱动轴的驱动力，同时致动和控制所述机械制动装置以将机械制动力输出至左右车轮中空转的车轮。从动力输出装置输出的驱动力的限制有效地消除了打滑。从机械制动装置至左右车轮中空转的车轮的制动力的输出有效地防止了动力输出装置的驱动力不均匀地仅输出至左右车轮中空转的车轮。这种设置可满意地提高左右车轮在不同摩擦系数的路面上行驶时车辆的启动性能和加速性能。

在本发明的车辆中，所述控制器致动和控制所述机械制动装置以将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮，从而将从所述动力输出装置输出至所述驱动轴的驱动力基本上相等地分配给所述左右车轮。这种设置进一步增强了车辆的启动性能和加速性能。

本发明的车辆还可包括测量或估计路面坡度的路面坡度测量估计单元，并且所述控制器，响应检测到的所述左右车轮中一个车轮的空转的至少收敛的趋势，致动和控制所述机械制动装置，以基于所测量或估计的路面坡度将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。这种设置进一步增强了左右车轮在不同摩擦系数的路面上行驶时车辆的启动性能和加速性能，而与路面坡度无关。在这种情况下，所述路面坡度测量估计单元基于所述车辆的加速度和从所述动力输出装置输出的驱动力估计与在沿路面方向施加到所述车辆上的力平衡的平衡力作为路面坡度，并且所述控制器计算与从所述动力输出装置输出至所述驱动轴的驱动力相对于所估计的

平衡力的不足相对应的补充制动力，并致动和控制所述机械制动装置以将包括所计算的补充制动力的总制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。对左右车轮中空转的车轮的制动力的输出使得动力输出装置的驱动力作为在倾斜的路面上行驶所要求的驱动力输出至非空转的车轮。

此外，本发明的车辆可包括设定输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力的上限的制动力上限设定单元，并且所述控制器可致动和控制所述机械制动装置以将在所述上限的设定范围内的制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。这种设置有效地防止了由施加过大的制动力导致的车辆的稳定性和加速性能的恶化。在这种情况下，所述车辆可包括测量车速的车速传感器，并且所述制动力上限设定单元可基于所测量的车速设定制动力的上限。此外，所述车辆可包括测量或估计路面坡度的路面坡度测量估计单元，并且所述制动力上限设定单元可基于所测量或估计的路面坡度设定制动力的上限。

在本发明的车辆中，在满足预定的执行条件时，所述控制器可致动和控制所述机械制动装置以将机械制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。所述预定的执行条件可以是不干涉所述机械制动装置的标准（通常）控制的非干涉条件。这种设置可满意地防止与标准控制的干涉。在这种情况下，所述预定的执行条件可包括可向前驱动范围内的档位、加速状态、驱动轴要求的驱动力要求不低于预设水平、以及制动断开状态中的至少一个。在将制动力输出至左右车轮中空转的车轮的过程中，当不满足所述预定的执行条件时，所述控制器可终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。

本发明的车辆还可包括测量车速的车速传感器，并且，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，当所测量的车速超过一阈值时，所述控制器可终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。在这种情况下，所述车辆还可包括测量或估计路面坡度的路面坡度测量估计单元，并可根据所测量或估计的路面坡度设定所述阈值。此外，所述阈值可设定为随着作为上坡的路面坡度的增加而减小。



在本发明的车辆中，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，响应通过所述打滑检测单元检测到的由所述左右车轮中另一个车轮的空转导致的打滑，所述控制器可终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。这种设置可满意地防止过量的驱动转矩的输出和由于在高转矩水平下打滑导致的电机中过量电流的产生。

本发明的车辆可包括检测或估计所述机械制动装置中预定的温度升高的温度升高检测估计单元，并且，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，响应检测到或估计到的所述机械制动装置中预定的温度升高，所述控制器可终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。这种设置有效地防止了机械制动装置的过热。在这种情况下，当对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出持续预定的第一时间时，所述温度升高检测估计单元可估计为所述机械制动装置中预定的温度升高。这种设置确保机械制动装置中温度升高的简单估计。此外，在终止制动力的输出之后，所述控制器可在预定的第二时间内禁止响应所述左右车轮中一个车轮的空转的制动力的输出。这种设置可容易地冷却机械制动装置。

本发明的车辆还可包括检测所述左右车轮中每个车轮的锁止的锁止检测单元，并且，在将制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮的过程中，响应通过所述锁止检测单元检测到的所述左右车轮中所述空转的一个车轮的锁止，所述控制器终止对所述左右车轮中所述空转的一个车轮的制动力输出。这种设置防止了车辆进入不稳定姿态。

此外，本发明的车辆可包括分别测量所述左右车轮的转速的转速测量传感器；以及测量或估计转向角的转向角测量估计单元，并且，所述打滑检测单元可基于所测量的左右车轮的转速和所测量或估计的转向角来检测所述左右车轮中每个车轮的打滑。这种设置确保对所述左右车轮中每个车轮的打滑的精确检测。

在本发明的车辆中，所述打滑检测单元，可基于所述驱动轴的角加速度和/或作为与所述驱动轴相连的左右车轮的驱动轮的转速与没有驱动力

的输出的从动轮的转速之差，检测由驱动轮的空转导致的打滑，并且，响应检测到的由所述驱动轮的空转导致的打滑，所述控制器可驱动和控制所述动力输出装置以限制输出至所述驱动轴的驱动力。

本发明的方法是一种车辆控制方法，所述车辆具有能够将驱动力输出至与左右车轮相连的驱动轴的动力输出装置和能够将机械制动力输出至所述左右车轮中每个车轮的机械制动装置，所述控制方法包括以下步骤：(a) 检测由车轮空转导致的所述左右车轮中每个车轮的打滑；以及(b) 响应在所述步骤(a)中检测到的由所述左右车轮中一个车轮的空转导致的打滑，驱动和控制所述动力输出装置以限制输出至所述驱动轴的驱动力，同时致动和控制所述机械制动装置以将机械制动力输出至所述左右车轮中所述空转的一个车轮。

响应检测到的由于左右车轮中一个车轮的空转导致的打滑，本发明的车辆控制方法驱动和控制所述动力输出装置以限制输出至与左右车轮相连的驱动轴的驱动力，同时致动和控制所述机械制动装置以将机械制动力输出至左右车轮中空转的车轮。从动力输出装置输出的驱动力的限制有效地消除了打滑。从机械制动装置至左右车轮中空转的车轮的制动力的输出有效地防止了动力输出装置的驱动力不均匀地仅输出至左右车轮中空转的车轮。这种设置可满意地提高左右车轮在不同摩擦系数的路面上行驶时车辆的启动性能和加速性能。

## 附图说明

图 1 示意性示出本发明的一个实施例中车辆 20 的构造；

图 2 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的驱动控制例程的流程图；

图 3 是示出电机转矩  $T_m^*$  随加速器开度  $Acc$  和车速  $V$  的变化的图；

图 4 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的打滑状态检测例程的流程图；

图 5 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的液压制

动转矩设定例程的流程图；

图 6 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的单个车轮打滑状态检测例程的前面部分的流程图；

图 7 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的单个车轮打滑状态检测例程的后面部分的流程图；

图 8 是示出左右车轮比率  $Rlr$  随转向角  $\theta_{st}$  的变化的图；

图 9 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的平衡转矩设定例程的流程图；

图 10 是示出制动转矩上限  $T_{bmax}$  随车体速度  $V$  和平衡转矩  $T_{grad}$  的变化的图；

图 11 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的液压制动器冷却例程的流程图；

图 12 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的制动锁止检测例程的流程图；

图 13 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的电机转矩限制例程的流程图；

图 14 是示出电机转矩上限  $T_{mmax}$  随角加速度的峰值  $\alpha_{peak}$  的变化的图；

图 15 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的电机转矩限制解除例程的流程图；

图 16 是由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的转矩限制值设定例程；

图 17 示出在右前轮发生打滑的情况下，角加速度  $\alpha$ 、电机转矩  $T_{m*}$ 、右前轮速度  $V_{fr}$ 、左前轮速度  $V_{fl}$ 、以及制动转矩  $T_{b*}$  的时间变化；

图 18 示意性示出一个变形例中车辆 120 的构造；

图 19 示意性示出另一个变形例中车辆 220 的构造；

图 20 示意性示出另一个变形例中车辆 320 的构造；

## 具体实施方式

下面作为优选实施例说明实施本发明的一种方式。图 1 示意性示出本发明的一个实施例中车辆 20 的构造。如所示出的，本实施例的车辆 20 包括电机 22 和控制整个车辆的主电子控制单元 70，所述电机 22 使用经由逆变器电路 24 从蓄电池 26 提供的电力，并向经由差速器 29 与驱动轮 62a 和 62b 机械地相连的驱动轴 28 输出动力。

电机 22 是同步电动发电机，可用作电动机和发电机。逆变器电路 24 包括多个开关（切换）元件以将从蓄电池 26 输入的电力转换为用于驱动电机 22 的适当形式的电力，并输出所转换的电力。

通过来自制动主缸 90 的液压致动的液压制动器 54a、54b、56a 以及 56b 连接到左前轮 62a、右前轮 62b、左后轮 64a 以及右后轮 64b。通过制动器电子控制单元（下文称为制动器 ECU）50 致动和控制制动器致动器 52（例如，线性电磁阀）以调节各个车轮上的制动转矩。尽管未具体示出，制动器 ECU 50 构造成包括 CPU、存储处理程序的 ROM、临时存储数据的 RAM、输入和输出端口以及通信端口的微处理器。制动器 ECU 50 经由其输入端口接收来自各种传感器的输入信号，例如，来自分别检测作为驱动轮的左前轮 62a 和右前轮 62b 的转速的车轮速度传感器 34a 和 34b 的左前轮速度  $V_{fl}$  和右前轮速度  $V_{fr}$ ，以及来自分别检测作为从动轮的左后轮 64a 和右后轮 64b 的转速的车轮速度传感器 36a 和 36b 的左后轮速度  $V_{rl}$  和右后轮速度  $V_{rr}$ 。制动器 ECU 50 经由其输出端口向制动器致动器 52 输出控制信号。制动器 ECU 50 经由其通信端口建立与主电子控制单元 70 的通信，以响应来自主电子控制单元 70 的控制信号致动和控制制动器致动器 52，并根据要求向主电子控制单元 70 发送输入数据。

主电子控制单元 70 构造成包括 CPU 72、存储处理程序的 ROM 74、临时存储数据的 RAM 76、未示出的输入和输出端口以及未示出的通信端口的微处理器。主电子控制单元 70 经由其输入端口接收各种输入信号，包括：来自检测驱动轴 28（电机 22 的转动轴）的转动位置的转动位置检测传感器 32（例如，旋转变压器（resolver））的转动位置  $\theta_m$ ，来自检测换

档杆 81 的当前位置的换档位置传感器 82 的换档位置 SP, 来自检测加速踏板 83 的踩下量的加速踏板位置传感器 84 的加速器开度 Acc, 来自检测制动踏板 85 的踩下量的制动踏板位置传感器 86 的制动踏板位置 BP, 来自转向角传感器 88 的转向角  $\theta_{st}$ , 以及来自坡度传感器 89 的路面坡度  $\theta_{gr}$ 。主电子控制单元 70 经由其输出端口向包括在逆变器电路 24 中的开关元件输出开关控制信号。

下面说明如上所述构造的实施例的车辆 20 的一系列操作。图 2 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的驱动控制例程的流程图。该例程以预先设定的时间间隔 (例如, 每隔 8 毫秒) 重复执行。

当驱动控制例程开始时, 主电子控制单元 70 的 CPU 72 首先输入用于控制所需的各种数据, 即, 通过加速踏板位置传感器 84 测量的加速器开度 Acc、通过车轮速度传感器 34a、34b、36a 以及 36b 测量的左前轮速度  $V_{fl}$ 、右前轮速度  $V_{fr}$ 、左后轮速度  $V_{rl}$  以及右前轮速度  $V_{rr}$ , 驱动轴 28 的转速  $N_m$ , 车体速度  $V$ , 通过转向角传感器 88 测量的转向角  $\theta_{st}$ , 通过换档位置传感器 82 检测的换档位置 SP, 以及通过制动踏板位置传感器 86 检测的制动踏板位置 BP (步骤 S100)。在该实施例中, 输入的驱动轴 28 的转速  $N_m$  由通过转动位置检测传感器 32 检测的驱动轴 28 的转动位置  $\theta_m$  计算出。车体速度  $V$  是左后轮速度  $V_{rl}$  和右后轮速度  $V_{rr}$  的平均值 ( $V=(V_{rl}+V_{rr})/2$ )。

然后该例程基于输入的加速器开度 Acc 和驱动轴 28 (电机 22 的转轴) 的转速  $N_m$  设定将从电机 22 输出的电机转矩  $T_m^*$  (步骤 S102)。在该实施例的结构中, 电机转矩  $T_m^*$  随加速器开度 Acc 和转速  $N_m$  的变化被预先规定并作为图 (map) 存储于 ROM 74 中。该实施例的程序从所存储的图中读取并设定对应于给定的加速器开度 Acc 和给定的转速  $N_m$  的电机转矩  $T_m^*$ 。图 3 示出该图的一个示例。

然后该例程由输入的转速  $N_m$  计算驱动轴 28 的角加速度  $\alpha$  (步骤 S104)。角加速度  $\alpha$  通过从该例程的当前循环中输入的当前转速  $N_m$  减去该例程的前一循环中输入的前一转速  $N_m$  (当前转速  $N_m$  - 前一转速  $N_m$ )

而计算出。在该实施例中，由于转速  $N_m$  由每分钟的转数 (rpm) 表示且该例程的执行时间间隔为 8 毫秒，所以角加速度  $\alpha$  的单位是[rpm/8 毫秒]。也可采用任何其它合适的单位来表示作为角速度的时间变化的角加速度。为了减小潜在的误差，角加速度  $\alpha$  可以是该例程的当前及过去几个循环(例如，过去三个循环)中计算出的角加速度的当前和过去数据的平均值。

在计算角加速度  $\alpha$  之后，该例程基于计算出的角加速度  $\alpha$  执行打滑状态检测处理以检测左前轮 62a 和右前轮 62b 的打滑状态(步骤 S106)。根据图 4 的打滑状态检测例程执行打滑状态检测处理。现在中断对图 2 的流程图中的驱动控制例程的说明，讨论图 4 的打滑状态检测例程。当打滑状态检测例程开始时，主电子控制单元 70 的 CPU 72 首先判断在图 2 的例程中的步骤 S104 计算出的角加速度  $\alpha$  是否超过用以认定由于车轮空转而发生打滑的阈值  $\alpha_{slip}$ (步骤 S130)。当判定计算出的角加速度  $\alpha$  超过阈值  $\alpha_{slip}$  时，该例程检测到由于左前轮 62a 和右前轮 62b 的空转而发生打滑，并将打滑发生标记 F1 设定为值 1 以表示发生打滑(步骤 S132)。然后打滑状态检测例程终止。另一方面，当判定计算出的角加速度  $\alpha$  没有超过阈值  $\alpha_{slip}$  时，该例程检查打滑发生标记 F1 的值(步骤 S134)。当打滑发生标记 F1 等于 1 时，该例程随后判断角加速度  $\alpha$  是否为负值以及负的角加速度  $\alpha$  是否持续预定的时段(步骤 S136 和 S138)。当判定角加速度  $\alpha$  为负值并且负的角加速度  $\alpha$  持续预定的时段时，该例程检测为左前轮 62a 和右前轮 62b 上发生的打滑收敛并将打滑收敛标记 F2 设定为值 1(步骤 S140)。然后打滑状态检测例程终止。当判定打滑发生标记 F1 不等于 1 时，打滑状态检测例程检测为左前轮 62a 和右前轮 62b 的附着状态，然后终止。在打滑发生标记 F1 等于 1 的情况下，当判定角加速度  $\alpha$  不为负值或者负的角加速度  $\alpha$  没有持续预定的时段时，打滑状态检测例程检测为打滑不收敛，然后终止。

再次参照图 2 的流程图，驱动控制例程根据打滑状态检测处理的结果执行一系列处理(步骤 S108)。响应于检测到打滑发生标记 F1 和打滑收敛标记 F2 都等于 0 的附着状态，该例程将下文将讨论的制动转矩  $T_b^*$ 、左

轮打滑发生标记 F3 以及右轮打滑发生标记 F4 设定为值 0，以终止制动转矩  $T_b^*$  的输出（步骤 S118）。驱动控制例程利用所设定的电机转矩  $T_m^*$  驱动和控制电机 22，同时利用所设定的制动转矩  $T_b^*$  致动和控制液压制动器 54a 和 54b（步骤 S120），然后终止。通过向包括于逆变器电路 24 的开关元件输出开关控制信号而驱动和控制电机 22。接收所输入的制动转矩  $T_b^*$  的制动器 ECU 50 向制动器致动器 52 输出控制信号以致动和控制制动器致动器 52。响应于检测到打滑发生标记 F1 等于 1 和打滑收敛标记 F2 等于 0 的打滑的发生，驱动控制例程执行电机转矩限制处理以限制在步骤 S102 设定的电机转矩  $T_m^*$ （步骤 S110）。响应于检测到的打滑发生标记 F1 和打滑收敛标记 F2 都等于 1 的打滑的收敛，驱动控制例程执行电机转矩限制解除处理以解除由电机转矩限制处理对电机转矩  $T_m^*$  的限制（步骤 S112）。下文将讨论电机转矩限制处理和电机转矩限制解除处理的细节。

在执行在步骤 S110 的电机转矩限制处理或在步骤 S112 的电机转矩限制解除处理之后，驱动控制例程判断是否允许执行连接到左前轮 62a 和右前轮 62b 上的液压制动器 54a 和 54b 的控制（液压制动器控制）（步骤 S114）。根据是否满足所有预设的条件的判断来确定是否允许执行液压制动器控制。该预设的条件包括：换挡杆 81 的当前位置在可向前驱动范围（档位段），即在 D 范围或 B 范围；驾驶员踩下加速踏板 83 以使得在步骤 S102 设定的电机转矩  $T_m^*$  不小于预定水平；液压制动器控制不干涉其它制动控制，例如驾驶员脱离制动踏板 85 的动作；蓄电池 26 处于良好的充电状态；以及制动器 ECU 50 和制动器致动器 52 处于正常状态。该预设的条件还可包括液压制动器控制禁止条件，以在下文将参照图 5 的流程图讨论的液压制动转矩设定处理过程中禁止执行液压制动器控制。在允许液压制动器控制的情况下，驱动控制例程执行液压制动转矩设定处理（步骤 S116），该处理判断左前轮 62a 和右前轮 62b 的打滑是否是由于左前轮 62a 和右前轮 62b 中一个车轮（单个车轮）的空转造成的，并设定制动转矩  $T_b^*$  以将制动转矩输出给空转的车轮。下面讨论液压制动转矩设定处理的细节。

图 5 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的液压制

动转矩设定例程的流程图。液压制动转矩设定例程首先执行单个车轮打滑状态检测处理以检测左前轮 62a 和右前轮 62b 中一个车轮（单个车轮）的打滑状态（步骤 S200）。根据图 6 和图 7 中所示的单个车轮打滑状态检测例程执行单个车轮打滑状态检测处理。单个车轮打滑状态检测例程首先从右前轮速度  $V_{fr}$  减去左前轮速度  $V_{fl}$ （这两个速度都在图 2 的驱动控制例程中的步骤 S100 输入），以计算左右车轮速度差  $\Delta V_{RL}$ （观测值）（步骤 S230）。然后该例程基于在图 2 的例程中的步骤 S100 输入的转向角  $\theta_{st}$  设定左右车轮比率  $R_{lr}$ （wheel ratio  $R_{lr}$ ），并根据下面给出的方程式（1）由左右车轮比率  $R_{lr}$  和输入的车体速度  $V$  计算估计的附着状态左右车轮速度差  $\Delta VB$ （步骤 S232），该  $\Delta VB$  表示在左前轮 62a 和右前轮 62b 处于附着状态下由转向角  $\theta_{st}$  引起的左前轮速度  $V_{fl}$  与右前轮速度  $V_{fr}$  之间的预期差值。在该实施例的结构中，左右车轮比率  $R_{lr}$  随转向角  $\theta_{st}$  的变化被预先规定并作为图存储于 ROM 74 中。该实施例的程序从所存储的图中读取并设定对应于给定的转向角  $\theta_{st}$  的左右车轮比率  $R_{lr}$ 。图 8 示出该图的一个示例。在该实施例中，转向角  $\theta_{st}$  由转向角传感器 88 直接测得。左后从动轮 64a 的左后轮速度  $V_{rl}$  与右后从动轮 64b 的右后轮速度  $V_{rr}$  的比值一对一地映射于转向角  $\theta_{st}$ 。从而可由该比值估计转向角  $\theta_{st}$ 。

$$\Delta VB = V \cdot (R_{lr} - 1) \quad (1)$$

在计算估计的附着状态左右车轮速度差  $\Delta VB$  之后，该例程在计算出的估计的附着状态左右车轮速度差  $\Delta VB$  上加上一预设的值以规定上限  $\Delta VBU$ ，并从计算出的估计的附着状态左右车轮速度差  $\Delta VB$  减去一预设的值以规定下限  $\Delta VBL$ （步骤 S234）。然后该例程判断在步骤 S230 计算出的左右车轮速度差  $\Delta V_{RL}$ （观测值）是否在由所设定的上限  $\Delta VBU$  和下限  $\Delta VBL$  限定的可允许范围内（步骤 S236）。

作为一个示例，假定仅左前轮 62a 空转。在这种情况下，在步骤 S236 判定所观测到的左右车轮速度差  $\Delta V_{RL}$  小于下限  $\Delta VBL$ 。然后该例程判断在图 2 的例程中的步骤 S100 输入的驱动轴 28 的转速  $N_m$  与转换系数  $k$ （用于转换为左前轮 62a 和右前轮 62b 的转速的系数）的乘积是否在由输入的



右前轮速度  $V_{fr}$  和输入的左前轮速度  $V_{fl}$  限定的范围内，并由此验证步骤 S236 的判断（步骤 S238）。在得到肯定的验证的情况下，该例程判断右轮打滑发生标记 F4 是否等于 1（步骤 S240）。此时，仅左前轮 62a 空转。从而，将右轮打滑发生标记 F4 设定为等于 1 意味着在右前轮 62b 已空转并已检测到右前轮 62b 发生打滑之后作为相对的车轮的左前轮 62a 空转。当右轮打滑发生标记 F4 不等于 1 时，该例程随后判断左轮打滑发生标记 F3 是否等于 1（步骤 S242）。当左轮打滑发生标记 F3 不等于 1 时，该例程判断左前轮 62a 的空转是否持续预设的时段（例如，50 毫秒）（步骤 S244）。当在步骤 S242 判定左轮打滑发生标记 F3 等于 1 时或在步骤 S244 判定左前轮 62a 的空转持续预设的时段时，该例程检测为左前轮 62a 打滑（单个车轮打滑）并将左轮打滑发生标记 F3 设定为值 1（步骤 S246）。该例程将在图 2 的例程中的步骤 S100 输入的左前轮速度  $V_{fl}$  设定为打滑车轮速度  $V_{SLIP}$ （步骤 S248），然后终止。另一方面，当在步骤 S244 判定左前轮 62a 的空转没有持续预设的时段时，该例程不检测为左前轮 62a 的打滑即终止。当在步骤 S240 判定右轮打滑发生标记 F4 等于 1 时，如上所述，在右前轮 62b 已空转并已检测到右前轮 62b 发生打滑之后作为相对的车轮的左前轮 62a 空转。因此，该例程检测为相对的车轮打滑（步骤 S250），然后终止。

在另一个示例中，假定仅右前轮 62b 空转。在这种情况下，在步骤 S236 判定所观测到的左右车轮速度差  $\Delta V_{RL}$  大于上限  $\Delta V_{BU}$ 。如同仅左前轮 62a 空转的情况中的处理（步骤 S238 至 S250），为了进行验证，该例程判断在图 2 的例程中的步骤 S100 输入的转速  $N_m$  与转换系数  $k$  的乘积是否在由输入的左前轮速度  $V_{fl}$  和输入的右前轮速度  $V_{fr}$  限定的范围内（步骤 S252）。在得到肯定的验证的情况下，该例程判断左轮打滑发生标记 F3 是否等于 1（步骤 S254）。当左轮打滑发生标记 F3 不等于 1 时，该例程判断右轮打滑发生标记 F4 是否等于 1（步骤 S256）。当右轮打滑发生标记 F4 不等于 1 时，该例程判断右前轮 62b 的空转是否持续预设的时段（例如，50 毫秒）（步骤 S258）。当在步骤 S256 判定右轮打滑发生标记

F4 等于 1 时或在步骤 S258 判定右前轮 62b 的空转持续预设的时段时，该例程检测为右前轮 62b 打滑（单个车轮打滑）并将右轮打滑发生标记 F4 设定为值 1（步骤 S260）。该例程将在图 2 的例程中的步骤 S100 输入的右前轮速度  $V_{fr}$  设定为打滑车轮速度  $V_{SLIP}$ （步骤 S262），然后终止。另一方面，当在步骤 S258 判定右前轮 62b 的空转没有持续预设的时段时，该例程不检测为右前轮 62b 的打滑即终止。当在步骤 S254 判定左轮打滑发生标记 F3 等于 1 时，该例程检测为相对的车轮打滑（步骤 S264），然后终止。

在另一个示例中，假定不存在仅是左前轮 62a 空转或仅是右前轮 62b 空转（不是单个车轮空转）。在这种情况下，在步骤 S236 判定所观测到的左右车轮速度差  $\Delta V_{RL}$  在由下限  $\Delta V_{BL}$  和上限  $\Delta V_{BU}$  限定的可允许范围内。然后该例程判断左轮打滑发生标记 F3 或右轮打滑发生标记 F4 是否等于 1（步骤 S266）。当标记 F3 或 F4 等于 1 时，该例程判断不是单个车轮空转的状态是否持续预设的时段（例如，1 秒）（步骤 S268）。当判定不是单个车轮空转的状态持续预设的时段时，该例程检测为单个车轮打滑收敛（步骤 S270），然后终止。当在步骤 S266 判定左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 都不等于 1 时（标记 F3 和 F4 都等于 0 时），该例程检测为没有发生任何单个车轮打滑，然后终止。当在步骤 S268 判定不是单个车轮空转的状态没有持续预设的时段时，该例程不检测为单个车轮打滑的收敛即终止。以这种方式执行单个车轮打滑状态检测处理。

再次参照图 5 的流程图，液压制动转矩设定例程根据步骤 S200 的单个车轮打滑状态检测处理的结果设定制动转矩  $T_b^*$ （步骤 S202）。响应于检测到没有发生单个车轮打滑，该例程将制动转矩  $T_b^*$  以及左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 设定为值 0，以便停止从液压制动器 54a 和 54b 的制动转矩的输出（步骤 S204），然后终止。

响应于在步骤 S202 检测到发生单个车轮打滑，其中左轮打滑发生标记 F3 或右轮打滑发生标记 F4 等于 1，该例程判断打滑车轮速度  $V_{SLIP}$  是否超过一峰值（步骤 S206）。当打滑车轮速度  $V_{SLIP}$  没有超过所述峰值时，

该例程在该例程的前一循环中设定的前一制动转矩  $Tb^*$  上加上预设的值  $Tb1$ ，以设定将输出给空转的车轮的制动转矩  $Tb^*$ （步骤 S208）。在打滑车轮速度  $VSLIP$  达到所述峰值之前，将输出给空转的车轮的制动转矩  $Tb^*$  自发生单个车轮打滑开始随时间的经过而逐渐增加预设的值  $Tb1$ 。该预设的值  $Tb1$  被规定为例如使制动转矩  $Tb^*$  以  $50Nm/50$  毫秒的速度增加。另一方面，当判定打滑车轮速度  $VSLIP$  已超过所述峰值时，该例程判断相当于路面坡度  $\theta_{gr}$  的平衡转矩  $Tgrad$  是否大于在图 2 的例程中的步骤 S112 或步骤 S110 限制的电机转矩  $Tm^*$ （步骤 S216）。当平衡转矩  $Tgrad$  大于限制的电机转矩  $Tm^*$  时，该例程在设定的制动转矩  $Tb^*$  上加上相对于平衡转矩  $Tgrad$  不足的转矩（步骤 S218）。在该实施例中，根据图 9 的流程图所示的平衡转矩设定例程设定平衡转矩  $Tgrad$ 。当左前轮 62a 和右前轮 62b 没有发生打滑（步骤 S280）并且车体速度  $V$  不等于 0（步骤 S282）时，该例程基于车辆 20 的加速度和对车辆 20 的输出转矩设定平衡转矩  $Tgrad$ （步骤 S284）。该实施例的程序根据下面给出的方程式（2），由表示车辆 20 的加速度的角加速度  $\alpha$  和在图 2 的例程的前一循环中的步骤 S120 的处理中用作对车辆 20 的输出转矩的前一电机转矩  $Tm^*$ ，计算平衡转矩  $Tgrad$ 。方程式（2）中的‘K1’表示依赖于车辆 20 的重量和左前轮 62a 和右前轮 62b 的直径的常数。通过考虑路面坡度  $\theta_{gr}$  来调节将输出给空转的车轮的制动转矩  $Tb^*$ ，使得能够根据路面坡度  $\theta_{gr}$  将电机 22 的转矩作为车辆的启动或加速所需的转矩输出给未空转的车轮。这提高了车辆的启动性能和加速性能。

$$Tgrad = \text{前一 } Tm^* - K1 \cdot \alpha \quad (2)$$

响应于在步骤 S202 检测到单个车轮打滑的收敛，该例程从在步骤 S208 或 S218 设定的制动转矩  $Tb^*$  减去预设的值  $Tb2$  以设定制动转矩  $Tb^*$ （步骤 S220）。在单个车轮打滑收敛的情况下，对空转的车轮的制动转矩  $Tb^*$  的输出以预设的值  $Tb2$  减小，并最终终止。预设的值  $Tb2$  被规定为例如使制动转矩  $Tb^*$  以  $100Nm/1$  秒的速度减小。

在设定制动转矩  $Tb^*$  之后，该例程基于所输入的车体速度  $V$  和所设定

的平衡转矩  $T_{grad}$ ，设定作为将输出至左前轮 62a 和右前轮 62b 之中的空转的车轮的制动转矩的可允许的上限的制动转矩上限  $T_{bmax}$  (步骤 S210)。在该实施例的结构中，制动转矩上限  $T_{bmax}$  随车体速度  $V$  和平衡转矩  $T_{grad}$  的变化被预先规定并作为图存储于 ROM 74 中。该实施例的程序从所存储的图中读取并设定对应于给定的车体速度  $V$  和给定的平衡转矩  $T_{grad}$  的制动转矩上限  $T_{bmax}$ 。图 10 示出该图的一个示例。如该图中所示，制动转矩上限  $T_{bmax}$  被设定为在车体速度  $V$  超过预定水平之后随车体速度  $V$  的增加以及随平衡转矩  $T_{grad}$  的增加而减小。该实施例的程序设定在应对发生单个车轮打滑的最小可能的有效范围内的制动转矩  $T_{b*}$  并控制液压制动器 54a 和 54b。

然后该例程判断所设定的制动转矩上限  $T_{bmax}$  是否等于 0 (步骤 S212)。当所设定的制动转矩上限  $T_{bmax}$  等于 0 时，该例程将制动转矩  $T_{b*}$  以及左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 设定为值 0 以停止制动转矩的输出 (步骤 S204)，然后终止。如图 10 的图所示，当车体速度  $V$  超过一阈值 (该阈值随平衡转矩  $T_{grad}$  的减小而增加) 时，制动转矩上限  $T_{bmax}$  设定为等于 0。此时，制动转矩的输出终止。另一方面，当所设定的制动转矩上限  $T_{bmax}$  不等于 0 时，该例程以制动转矩上限  $T_{bmax}$  作为上限监控 (保护, guard) 制动转矩  $T_{b*}$  (步骤 S214)，然后终止。在完成该例程时，图 2 的驱动控制例程中的步骤 S120 以在步骤 S110 或 S112 限制的电机转矩  $T_{m*}$  驱动和控制电机 22，同时基于所设定的制动转矩  $T_{b*}$ ，致动和控制制动器致动器 52 以致动对应于空转的车轮的液压制动器 54a 或 54b，从而输出转矩。

响应于在图 7 的单个车轮打滑状态检测例程中的步骤 S250 或步骤 S264 检测到发生相对的车轮打滑，需要重新执行液压制动控制。因此，该例程将制动转矩  $T_{b*}$  以及左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 设定为值 0 以停止制动转矩的输出 (步骤 S204)，然后终止。

作为执行步骤 S114 的液压制动控制的预设的条件之一，下面说明在通过液压制动器 54a 或 54b 向空转的车轮连续输出制动转矩  $T_{b*}$  的过程中设

定液压制动控制允许标记 Fb 的处理。图 11 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的液压制动器冷却例程的流程图。该例程以预设的时间间隔重复地执行。该液压制动器冷却例程首先判断液压制动控制允许标记 Fb 是否等于 1 (步骤 S300)。当液压制动控制允许标记 Fb 等于 1 时, 该例程随后判断左轮打滑发生标记 F3 或右轮打滑发生标记 F4 是否等于 1 (步骤 S302)。当标记 F3 或 F4 等于 1 时, 该例程输入在图 5 的液压制动转矩设定例程中设定的制动转矩  $T_b^*$  (步骤 S304) 并判断制动转矩的输出是否在执行 (步骤 S306)。当判定制动转矩的输出在执行时, 该例程将表示制动转矩的输出时间的计数器 C 的计数增加 1 (步骤 S308) 并比较计数器 C 的计数与阈值 Cref (步骤 S310)。此处, 阈值 Cref 通过试验或通过其它合适的方法预先规定 (例如, 30 秒), 作为液压制动器 54a 或 54b 由于制动转矩  $T_b^*$  的输出而可能过热的时间。当判定计数器 C 的计数超过阈值 Cref 时, 该例程判定制动转矩的长时间输出可能使液压制动器 54a 或 54b 过热, 并将液压制动控制允许标记 Fb 设定为值 0 (步骤 S312), 然后终止。在这种情况下, 在图 2 的驱动控制例程中的步骤 S114 不允许执行液压制动控制。从而, 驱动控制例程将制动转矩  $T_b^*$  以及左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 设定为值 0 (步骤 S118)。这一系列处理有效地防止了液压制动器 54a 和 54b 的过热。当在步骤 S302 判定左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 都等于 0 时, 当在步骤 S304 输入的制动转矩  $T_b^*$  等于 0 且在步骤 S306 判定没有执行制动转矩的输出时, 或者当在步骤 S310 判定计数器 C 的计数没有超过阈值 Cref 时, 该例程判定液压制动器 54a 和 54b 不可能过热, 并立即终止。

当在步骤 S300 判定液压制动控制允许标记 Fb 不等于 1 时, 在图 2 的驱动控制例程中的步骤 S114 不允许执行液压制动控制。因此, 该例程将计数器 C 的计数减小 2 (步骤 S314), 并判定计数器 C 的计数是否变为小于 0 (步骤 S316)。计数器 C 的计数小于 0 意味着液压制动器 54a 和 54b 充分冷却以及液压制动器 54a 和 54b 不可能过热。因此, 该例程将液压制动控制允许标记 Fb 设定为值 1 (步骤 S318) 并终止。这一系列处理解除了

由于液压制动器 54a 或 54b 可能过热而对液压制动控制的禁止。计数器 C 的计数的减小速度通过试验性地或以其它方式规定液压制动器 54a 或 54b 所需的冷却时间而设定。该实施例的程序从计数器 C 的计数减小 2。从而，解除液压制动控制的禁止的时间是自输出制动转矩开始判定可能过热的时间的一半。

作为执行步骤 S114 的液压制动控制的预设的条件之一，下面说明在由于通过液压制动器 54a 或 54b 向空转的车轮输出制动转矩而造成车轮锁止的情况下设定液压制动控制允许标记 Fc 的处理。图 12 是示出由该实施例的车辆 20 中主电子控制单元 70 执行的制动锁止检测例程的流程图。该例程以预设的时间间隔重复地执行。当制动锁止检测例程开始时，主电子控制单元 70 的 CPU 72 首先输入车体速度 V (步骤 S320) 并检查左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 的值 (步骤 S322)。当左轮打滑发生标记 F3 等于 1 且右轮打滑发生标记 F4 等于 0 时，即，响应于检测到左前轮 62a 打滑，通过液压制动器 54a 向左前轮 62a 输出制动转矩。相应地，该例程将左前轮速度 Vfl 设定为制动车轮速度 Vbr (步骤 S324)。当左轮打滑发生标记 F3 等于 0 且右轮打滑发生标记 F4 等于 1 时，即，响应于检测到右前轮 62b 打滑，通过液压制动器 54b 向右前轮 62b 输出制动转矩。相应地，该例程将右前轮速度 Vfr 设定为制动车轮速度 Vbr (步骤 S326)。然后该例程判断从车体速度 V 减去制动车轮速度 Vbr 的结果是否不小于预定水平 (步骤 S328)。当差值不小于预定水平时，该例程随后判断该状态是否持续预设的时段 (步骤 S330)。在从车体速度 V 减去制动车轮速度 Vbr 的结果不小于预定水平且该状态持续预定的时段的情况下，该例程判定可能由于通过液压制动器 54a 或 54b 输出制动转矩而使车轮锁止 (步骤 S332)。因此，该例程将液压制动控制允许标记 Fc 设定为值 0 (步骤 S334)，然后终止。在这种情况下，在图 2 的驱动控制例程中的步骤 S114 不允许执行液压制动控制。从而，驱动控制例程将制动转矩  $T_b^*$  以及左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 设定为值 0 (步骤 S118)。这一系列处理有效地防止了车辆 20 由于车轮的锁止而进入不稳定姿态。当在步骤 S322

判定左轮打滑发生标记 F3 和右轮打滑发生标记 F4 都等于 0 时，当在步骤 S328 判定从车体速度  $V$  减去制动车轮速度  $V_{br}$  的结果小于预定水平时，或者当在步骤 S330 判定所述状态没有持续预设的时段时，该例程将液压制动控制允许标记  $F_c$  设定为值 1（步骤 S336），然后终止。该实施例的程序基于制动车轮速度  $V_{br}$  与车体速度  $V$  之差检测车轮的锁止。出于相同的目的，可采用其它技术；例如，可基于制动车轮速度  $V_{br}$  的时间差分是否小于预设的水平的结果进行检测。

根据图 13 的电机转矩限制例程执行在图 2 的驱动控制例程的步骤 S110 的电机转矩限制处理。该电机转矩限制例程首先判断角加速度  $\alpha$  的当前值是否超过峰值  $\alpha_{peak}$ （步骤 S400）。当判定角加速度  $\alpha$  的当前值超过峰值  $\alpha_{peak}$  时，该例程将峰值  $\alpha_{peak}$  更新为角加速度  $\alpha$  的当前值（步骤 S402）。峰值  $\alpha_{peak}$  表示角加速度  $\alpha$  的峰值，该峰值由于打滑而升高，且初始值设定为等于 0。在角加速度  $\alpha$  升高并达到其峰值之前，峰值  $\alpha_{peak}$  连续地更新为角加速度  $\alpha$  的最近的值。当角加速度  $\alpha$  达到其峰值时，该峰值  $\alpha_{peak}$  固定为该时刻的角加速度  $\alpha$  的值。该例程随后基于所设定的峰值  $\alpha_{peak}$  设定表示从电机 22 输出的转矩的可允许的上限的电机上限  $T_{mmax}$ （步骤 S404）。该实施例的程序使用示出电机转矩上限  $T_{mmax}$  随角加速度  $\alpha$  变化的转矩上限设定图。在该所示示例的图中，电机转矩上限  $T_{mmax}$  随角加速度  $\alpha$  的增加而减小。随着角加速度  $\alpha$  升高而使峰值  $\alpha_{peak}$  增加并增强打滑程度时，电机转矩上限  $T_{mmax}$  被设定为较小的值。这种设定限制了从电机 22 的转矩输出。在设定电机转矩上限  $T_{mmax}$  之后，该例程利用电机转矩上限  $T_{mmax}$  限制在图 2 的驱动控制例程的步骤 S102 设定的电机转矩  $T_m^*$ （步骤 S406 和 S408），然后终止。这一系列处理在发生打滑的情况下将从电机 22 的输出转矩限制为很低的转矩水平以消除打滑（即，对应于图 14 的图的角加速度的峰值  $\alpha_{peak}$  的电机转矩上限  $T_{mmax}$ ）。这种设置有效地消除了打滑。

根据图 15 的电机转矩限制解除例程执行在图 2 的驱动控制例程的步骤 S112 的电机转矩限制解除处理。该电机转矩限制解除例程首先判断电机转

矩限制解除标记 Fa 是否等于 0 (步骤 S420)。当电机转矩限制解除标记 Fa 等于 0 时, 该例程输入转矩限制值  $\delta$  (以与角加速度相同的单位“rpm/8 毫秒”), 同时将电机转矩限制解除标记 Fa 设定为值 1 (步骤 S424)。此处, 转矩限制值  $\delta$  是用以使对应于图 14 的图中的角加速度的峰值  $\alpha_{peak}$  的电机转矩上限  $T_{max}$  升高从而设定根据图 13 的电机转矩限制处理的转矩限制的解除程度的参数。根据图 16 的转矩限制值设定例程设定转矩限制值  $\delta$ 。该转矩限制值设定例程响应于在图 4 的打滑状态检测例程中的步骤 S132 将打滑发生标记 F1 设定为值 1 (即, 当角加速度  $\alpha$  超过阈值  $\alpha_{slip}$  时) 而执行。该转矩限制值设定例程首先输入驱动轴 28 的当前转速  $N_m$  (步骤 S440), 并从输入的当前转速  $N_m$  减去在该例程的前一循环中的步骤 S440 输入的前一转速  $N_m$  以计算角加速度  $\alpha$  (步骤 S442)。然后该例程根据下面给出的方程式 (3) 计算角加速度  $\alpha$  从所计算的角加速度  $\alpha$  超过阈值  $\alpha_{slip}$  的时刻到角加速度  $\alpha$  变得小于阈值  $\alpha_{slip}$  的时刻的时间积分  $\alpha_{int}$ 。在方程式 (3) 中, “ $\Delta t$ ” 表示在该例程中步骤 S440 至步骤 S446 重复执行的时间间隔。

$$\alpha_{int} \leftarrow \alpha_{int} + (\alpha - \alpha_{slip}) \cdot \Delta t \quad (3)$$

在当角加速度  $\alpha$  再次变得小于阈值  $\alpha_{slip}$  而积分结束时 (步骤 S446), 该例程将所计算的时间积分  $\alpha_{int}$  与预设的系数 K1 的乘积设定为转矩限制值  $\delta$  (步骤 S448), 然后终止。该实施例的程序利用预设的系数 K1 计算转矩限制值  $\delta$ 。另一可应用程序准备示出电机转矩上限  $T_{max}$  随时间积分  $\alpha_{int}$  而变化的图, 并从该图读取和设定对应于所计算出的时间积分  $\alpha_{int}$  的电机转矩  $T_{max}$ 。

再次参照图 15 的流程图, 在输入转矩限制值  $\delta$  之后, 电机转矩限制解除例程判断转矩限制值  $\delta$  的更新时刻是否到来 (步骤 S426)。当判定更新时刻已到来时, 该例程从转矩限制值  $\delta$  减去预设的值以更新并重新设定转矩限制值  $\delta$  (步骤 S428)。该更新处理随时间的经过逐步地增加由图 13 的电机转矩限制例程设定的电机转矩上限  $T_{max}$ , 以解除转矩限制。另一方面, 当判定更新时刻还没有到来时, 不执行转矩限制值  $\delta$  的更新。然后



该例程根据图 14 的图基于转矩限制值  $\delta$  设定作为从电机 22 的转矩输出的可允许的上限的电机转矩上限  $T_{mmax}$ 。然后该例程利用所设定的电机转矩上限  $T_{mmax}$  限制在图 2 的驱动控制例程中的步骤 S102 设定的电机转矩  $T_m^*$  (步骤 S432 和步骤 S434)，并判断转矩限制值  $\delta$  是否变得不大于 0 (步骤 S436)。当转矩限制值  $\delta$  变得不大于 0 时，该例程重新设定打滑发生标记 F1、打滑收敛标记 F2 以及电机转矩限制解除标记 Fa 为 0 (步骤 S438)，然后终止。以这种方式，该实施例的程序基于由角加速度  $\alpha$  的时间积分  $\alpha_{int}$  计算出的转矩限制值  $\delta$  来调节从电机 22 的输出转矩。这种转矩控制响应于打滑的收敛，通过对应于打滑状态解除适当程度的转矩限制，从而有效地防止了打滑的再次发生而没有过多的转矩限制。

图 17 示出在左前轮 62a 和右前轮 62b 中的一个空转的情况下，角加速度  $\alpha$ 、电机转矩  $T_m^*$ 、右前轮速度  $V_{fr}$ 、左前轮速度  $V_{fl}$  以及制动转矩  $T_b^*$  的时间变化。在图 17 所示的示例中，由于右前轮速度  $V_{fr}$  的空转而发生单个车轮打滑。响应于在驱动轴 28 的角加速度  $\alpha$  超过阈值  $\alpha_{slip}$  的时刻  $t_1$  检测到驱动轴 28 发生打滑，限制从电机 22 向驱动轴 28 的输出转矩。在驱动轴 28 的打滑是由右前轮速度  $V_{fr}$  (单个车轮) 的空转导致的情况下，在单个车轮空转从时刻  $t_1$  持续到时刻  $t_2$  之后，输出给空转的单个车轮的制动转矩  $T_b^*$  随着时间的经过而逐渐增大。在右前轮速度  $V_{fr}$  的空转达到其峰值的时刻  $t_3$ ，输出给右前轮速度  $V_{fr}$  的制动转矩  $T_b^*$  固定。在电机转矩  $T_m^*$  相对于平衡转矩  $T_{grad}$  不足的情况下，设定制动转矩  $T_b^*$  以补充该转矩不足。响应于非空转状态从右前轮速度  $V_{fr}$  的空转停止的时刻  $t_4$  持续到作为第一预设时间的时刻  $t_5$ ，该控制程序减小输出给右前轮速度  $V_{fr}$  的制动转矩  $T_b^*$ 。响应于非空转状态进一步持续到作为第二预设时间的时刻  $t_6$ ，该控制程序将输出给右前轮速度  $V_{fr}$  的制动转矩  $T_b^*$  设定为值 0，以完全终止制动转矩的输出。在左前轮 62a 和右前轮 62b 中的一个发生打滑的情况下，该控制程序向打滑车轮输出制动转矩  $T_b^*$ ，同时限制电机转矩  $T_m^*$ 。这种控制能够使从电机 22 向输出轴 28 的输出转矩基本上相等地分配给左前轮 62a 和右前轮 62b。这可满意地提高左前轮 62a 和右前轮 62b 在不同

摩擦系数的路面上行驶时车辆 20 的启动性能和加速性能。

如上所述，当左前轮 62a 和右前轮 62b 中的一个（单个车轮）空转导致左前轮 62a 和右前轮 62b 打滑时，本实施例的车辆 20 限制对与左前轮 62a 和右前轮 62b 相连的驱动轴 28 的电机 22 的输出转矩，并致动对应于空转的车轮的液压制动器 54a 或 54b 以输出制动转矩。从而，本实施例的车辆 20 能够使电机 22 的输出转矩基本上相等地分配给左前轮 62a 和右前轮 62b，同时消除打滑。这种设置确保在单个车轮打滑的情况下车辆的行驶稳定性。当打滑车轮速度 VSLIP 已经过其峰值且单个车轮打滑变为收敛时，电机转矩  $T_m^*$  相对于与路面坡度  $\theta_{gr}$  相当的平衡转矩  $T_{grad}$  的转矩不足通过由对应于空转的车轮的液压制动器 54a 或 54b 产生的制动转矩  $T_b^*$  补充。这种控制能够使电机 22 的转矩（电机转矩  $T_m^*$ ）作为车辆根据路面坡度  $\theta_{gr}$  启动或加速所需的转矩输出给未空转的车轮。这提高了车辆的启动性能和加速性能，而与路面坡度  $\theta_{gr}$  无关。

当液压制动器 54a 或 54b 可能过热时，本实施例的车辆 20 停止通过液压制动器 54a 或 54b 输出制动转矩一预设的时段。这种设置可满意地保护液压制动器 54a 和 54b，使其不致于过热。

在车轮由于通过与左前轮 62a 和右前轮 62b 之中的空转的车轮对应的液压制动器 54a 或 54b 的制动转矩的输出而锁止时，本实施例的车辆 20 停止通过液压制动器 54a 或 54b 的制动转矩的输出。这种设置可满意地防止车辆 20 由于车轮的锁止而进入不稳定姿态。

在本实施例的车辆 20 中，作为响应于左前轮 62a 和右前轮 62b 中的一个的空转通过液压制动器 54a 或 54b 输出的制动转矩的可允许的上限的制动转矩上限  $T_{bmax}$ ，基于车体速度  $V$  和相当于路面坡度  $\theta_{gr}$  的平衡转矩  $T_{grad}$  而设定。该制动转矩上限  $T_{bmax}$  可仅基于车体速度  $V$  设定，或者可不考虑车体速度  $V$  的变化或平衡转矩  $T_{grad}$  的变化而设定为固定的值。如果不需要，也可根本不设定制动转矩上限  $T_{bmax}$ 。

在响应于左前轮 62a 和右前轮 62b 中的一个的空转通过液压制动器 54a 或 54b 输出制动转矩的过程中，当车体速度  $V$  超过对应于路面坡度  $\theta_{gr}$

(平衡转矩  $T_{grad}$ ) 规定的阈值时, 本实施例的车辆 20 将制动转矩  $T_b^*$  设定为值 0, 以终止制动转矩的输出。可在车体速度  $V$  超过不依赖于路面坡度  $\theta_{gr}$  变化的固定的阈值时终止制动转矩的输出。也可不考虑车体速度  $V$  的变化, 不终止制动转矩的输出。

在本实施例的车辆 20 中, 当打滑车轮速度  $V_{SLIP}$  已经过峰值时, 通过液压制动器 54a 或 54b 的制动转矩  $T_b^*$  补充电机转矩  $T_m^*$  相对于平衡转矩  $T_{grad}$  的转矩不足。一个可行的变形例可响应于检测到单个车轮打滑的收敛, 通过液压制动器 54a 或 54b 的制动转矩  $T_b^*$  来补充电机转矩  $T_m^*$  相对于平衡转矩  $T_{grad}$  的转矩不足。

当电机 22 对驱动轴 28 的输出转矩相对于平衡转矩  $T_{grad}$  不足时, 本实施例的车辆 20 设定由液压制动器 54a 或 54b 产生的制动转矩  $T_b^*$  以补充该转矩不足。如果不需要, 可省略基于平衡转矩  $T_{grad}$  设定补充制动转矩。

本实施例的车辆 20 基于响应于左前轮 62a 和右前轮 62b 中的一个的空转通过液压制动器 54a 或 54b 输出制动转矩的时间来判断液压制动器 54a 或 54b 的过热的可能性。也可使用观测的液压制动器 54a 或 54b 的温度判断液压制动器 54a 或 54b 的过热的可能性。

本实施例的车辆 20 判断液压制动器 54a 或 54b 是否可能过热。当可能过热时, 在图 2 的驱动控制例程的步骤 S114 禁止通过液压制动器 54a 或 54b 的制动转矩的输出。特定性能的液压制动器 54a 和 54b 可能不需要这种对液压制动器 54a 和 54b 的过热的可能性的判断。在这种情况下, 省略图 11 的液压制动器冷却例程的执行。

本实施例的车辆 20 基于驱动轴 28 的角加速度  $\alpha$  判断由于左前轮 62a 和右前轮 62b 的空转造成的打滑的发生或未发生。也可基于作为驱动轮的左前轮 62a 和右前轮 62b 的速度与作为从动轮的左后轮 64a 和右后轮 64b 的速度之差以其它方式判断由于左前轮 62a 和右前轮 62b 的空转造成的打滑的发生或未发生。

本实施例的车辆 20 致动利用液压工作的液压制动器 54a 和 54b 以分别向左前轮 62a 和右前轮 62b 输出制动转矩。也可用能够通过摩擦机械地制

动左前轮 62a 和右前轮 62b 的任何其它机械制动器来代替液压制动器 54a 和 54b。

以上讨论的实施例针对具有机械地连接到驱动轴以直接向与左前轮 62a 和右前轮 62b 相连的驱动轴输出动力的电机 22 的车辆 20。本发明的技术也可应用于任何具有能够向驱动轴输出动力的动力输出装置的车辆。例如，本发明的技术可应用于一系列包括发动机、与发动机的输出轴相连的发电机以及利用由该发电机产生的电力的供给向驱动轴输出动力的电机的混合动力车辆。本发明的技术还可应用于图 18 的机械分配式混合动力车辆 120，该混合动力车辆包括发动机 122、与发动机 122 相连的行星齿轮装置 126、与行星齿轮装置 126 相连并产生电力的电机 124、以及与行星齿轮装置 126 相连并与同左前轮 62a 和右前轮 62b 相连的驱动轴机械地相连以向该驱动轴输出动力的电机 22。该技术还可应用于图 19 的电力分配式混合动力车辆 220，该混合动力车辆包括发动机 222、电机 224 以及电机 22，电机 224 具有与发动机 222 的输出轴相连的内转子 224a 和连接到与左前轮 62a 和右前轮 62b 相连的驱动轴的外转子 224b，并通过内转子 224a 相对于外转子 224b 的电磁作用相对转动，电机 22 与驱动轴机械地连接以向驱动轴输出动力。该技术还可应用于图 20 的混合动力车辆 320，该混合动力车辆包括经由变速器 324（例如，无级变速器或自动有级变速器）与同左前轮 62a 和右前轮 62b 相连的驱动轴相连的电机 22，以及经由离合器 CL 与电机 22 的转轴相连的发动机 322。在驱动轮发生打滑的情况下，考虑到与驱动轴机械地相连的电机的快速输出响应，控制程序主要控制该电机，从而限制对驱动轴的转矩输出。也可与该电机的控制协作执行另一电机的控制和发动机的控制。

以上讨论的实施例在所有方面应认为是示例性的而不是限制性的。在不脱离本发明的主要特征的精神和范围的条件下可存在很多变形例、改变和变化。

#### 工业应用性

本发明的技术可应用于与诸如汽车和列车 (train car) 的车辆相关的工业。

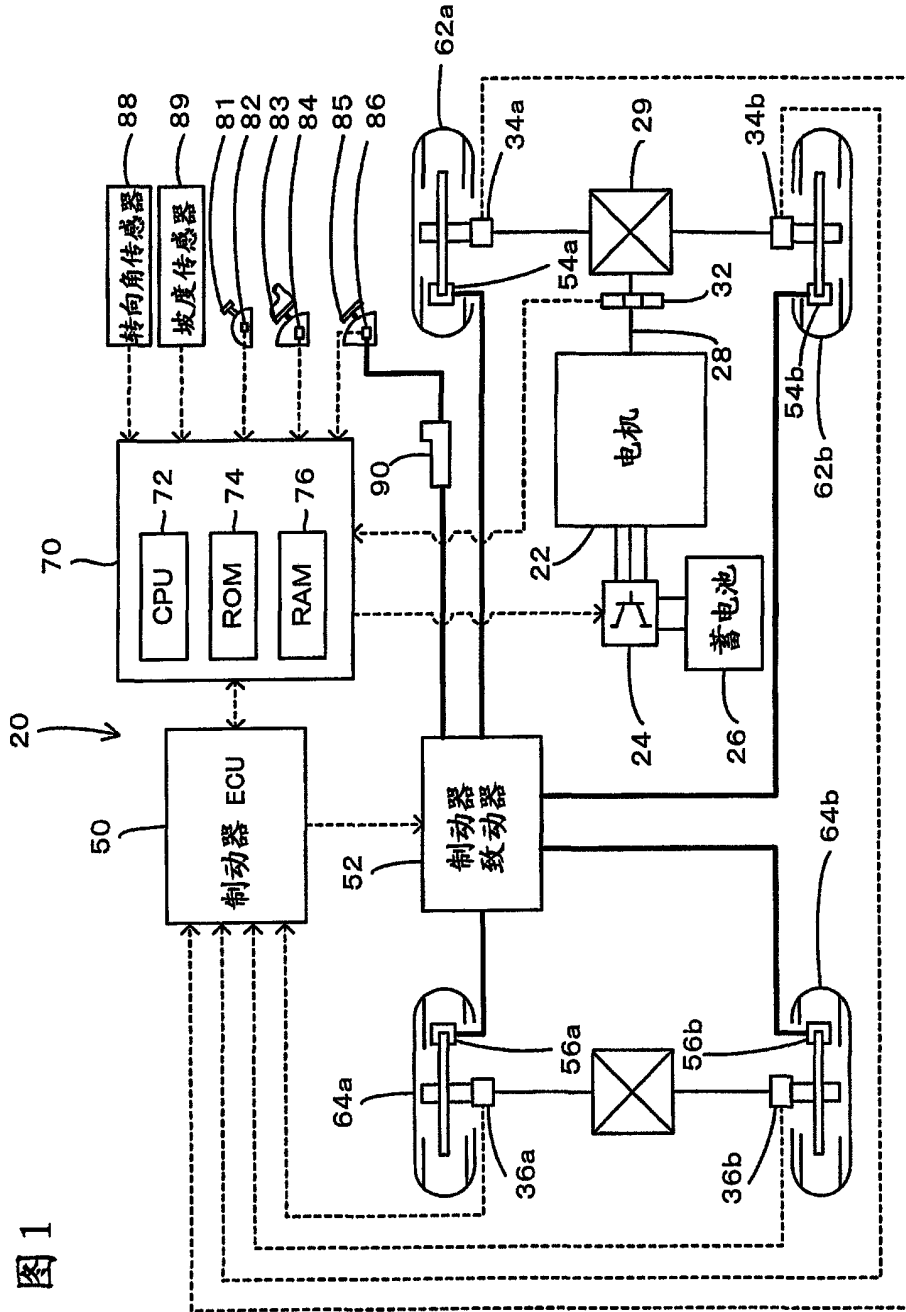


图 2

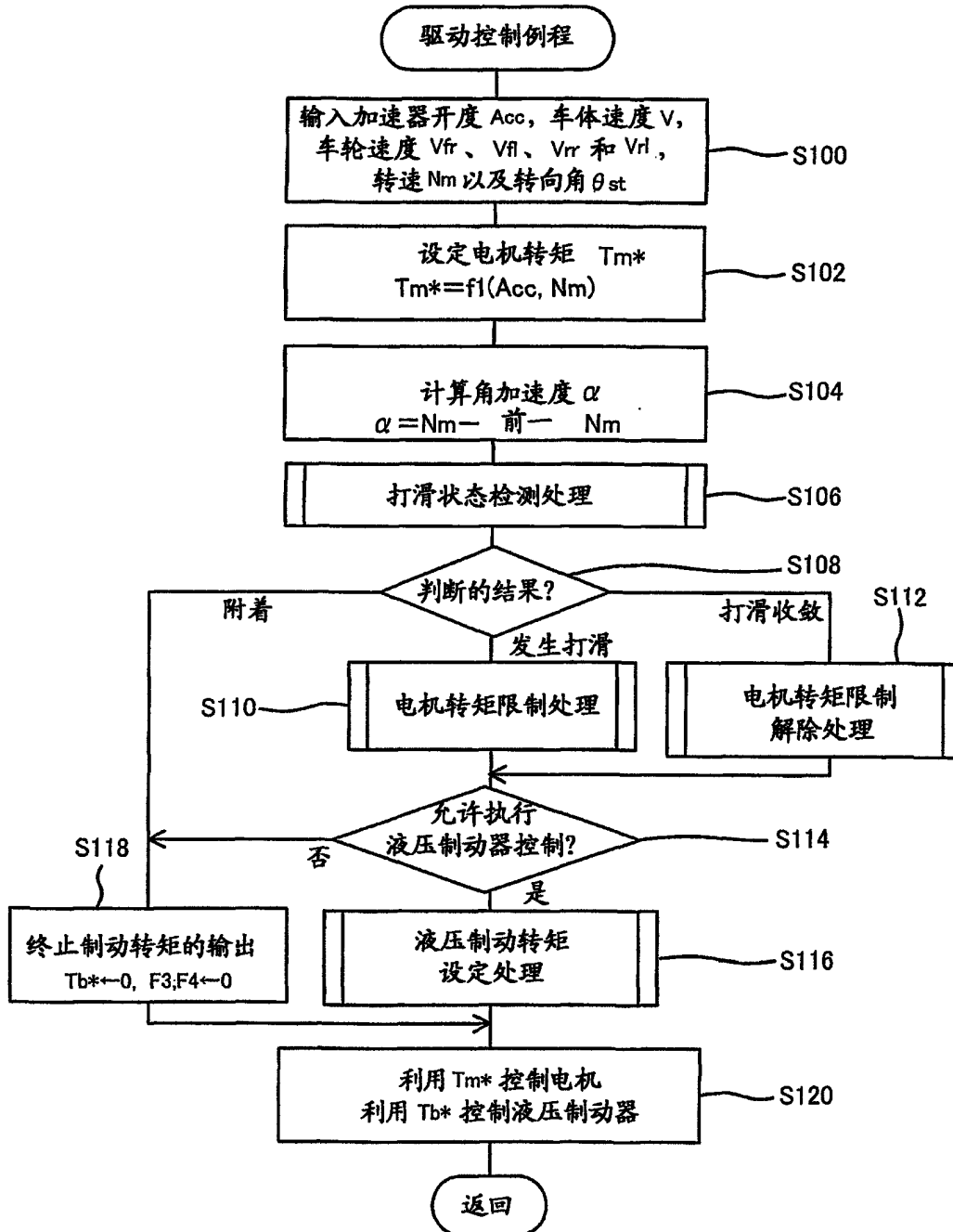


图 3

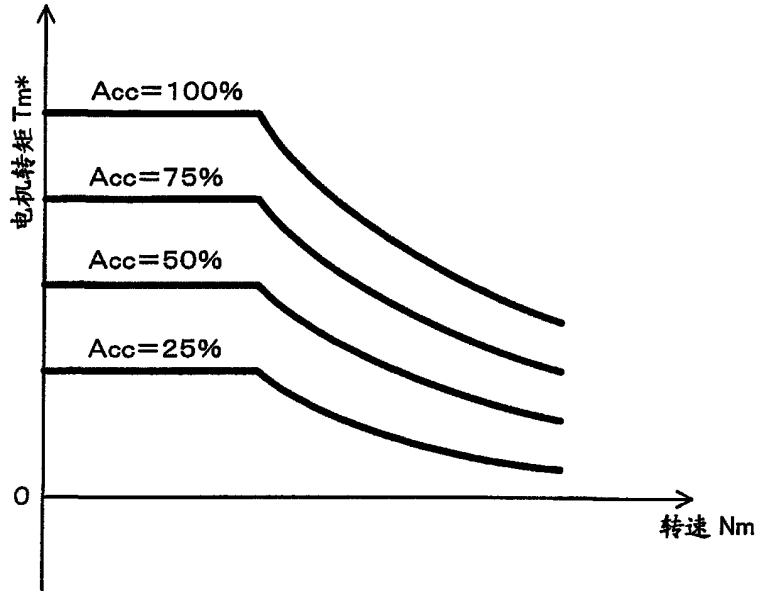


图 4

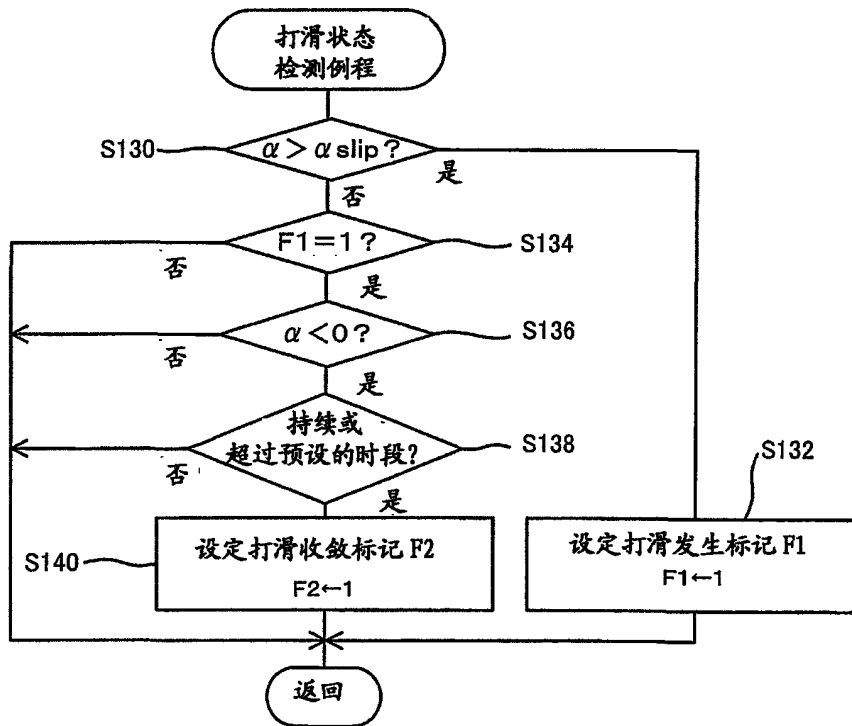


图 5

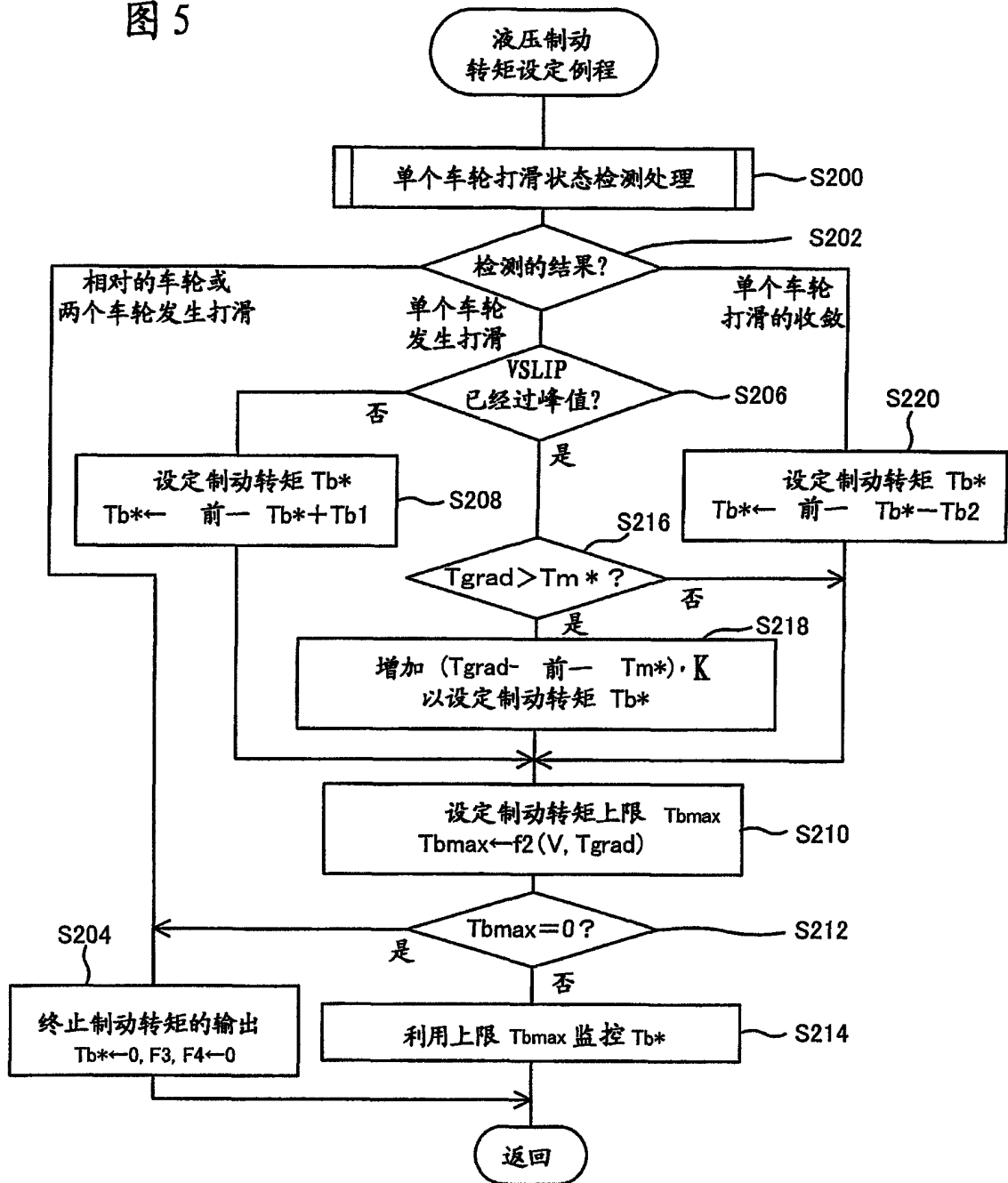
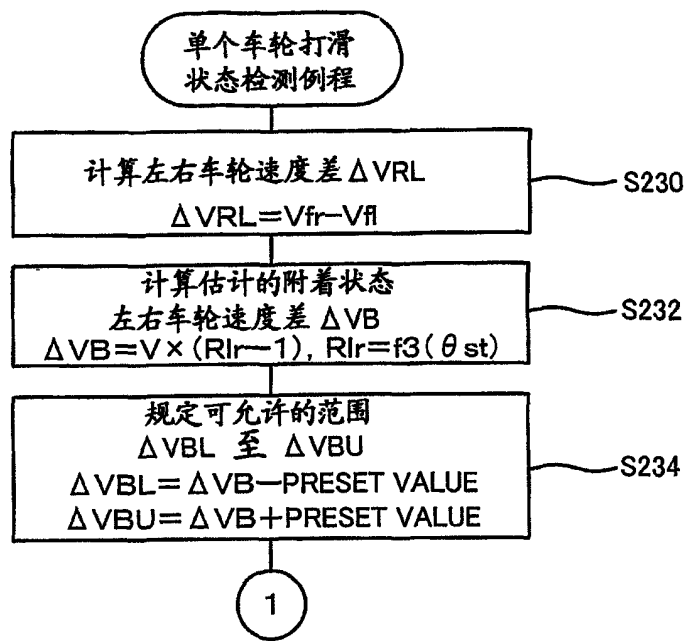
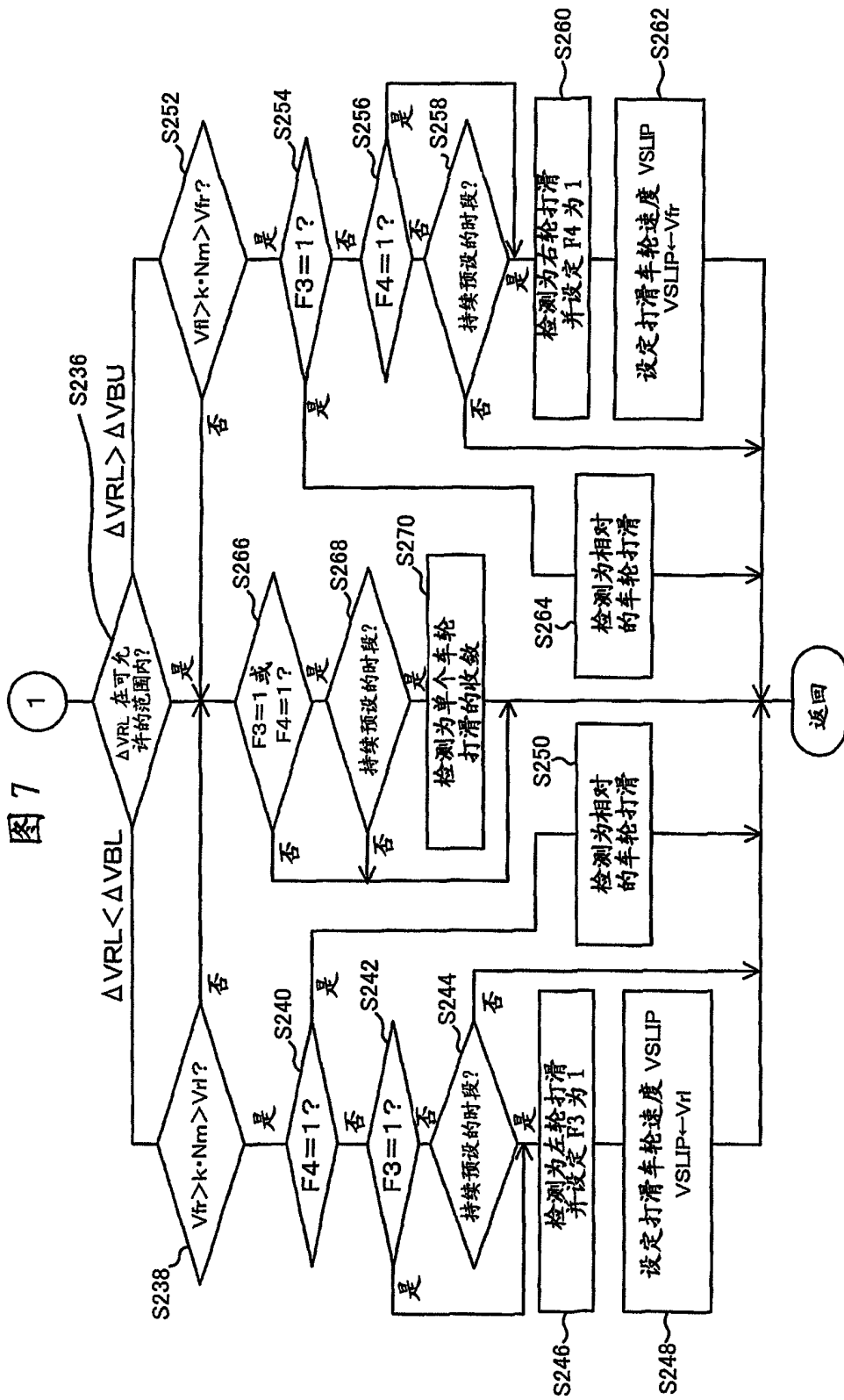




图 6





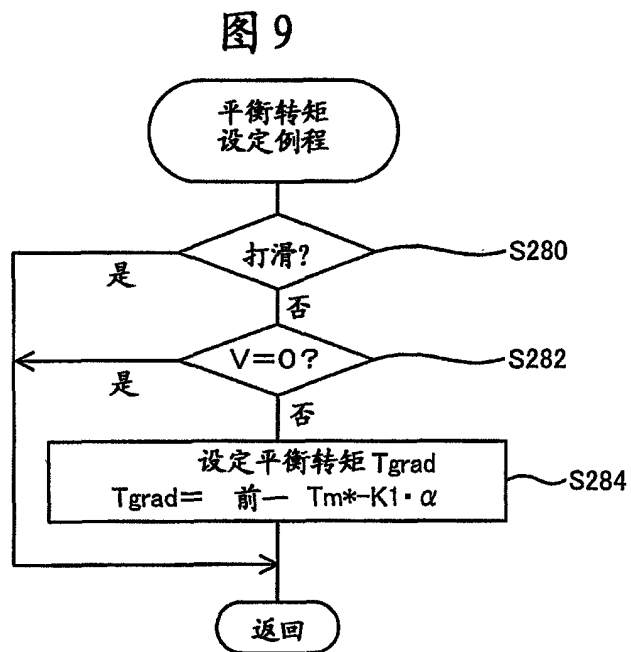
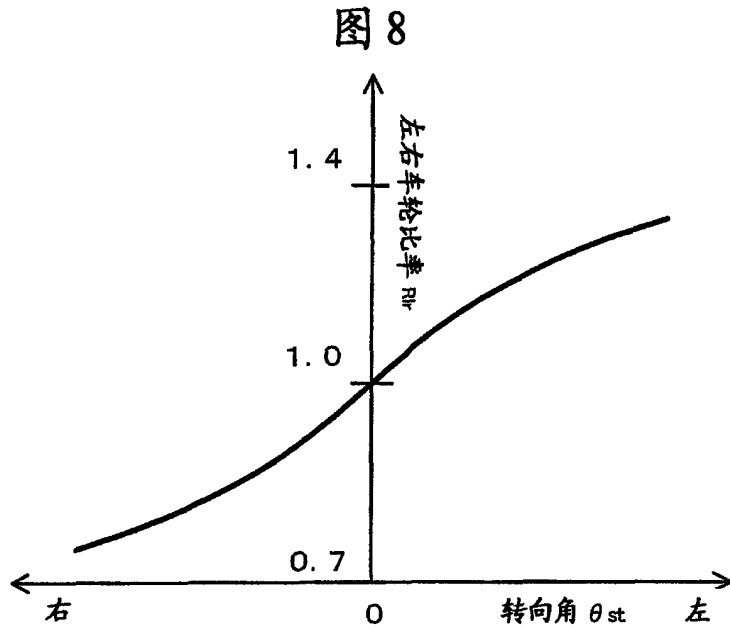


图 10

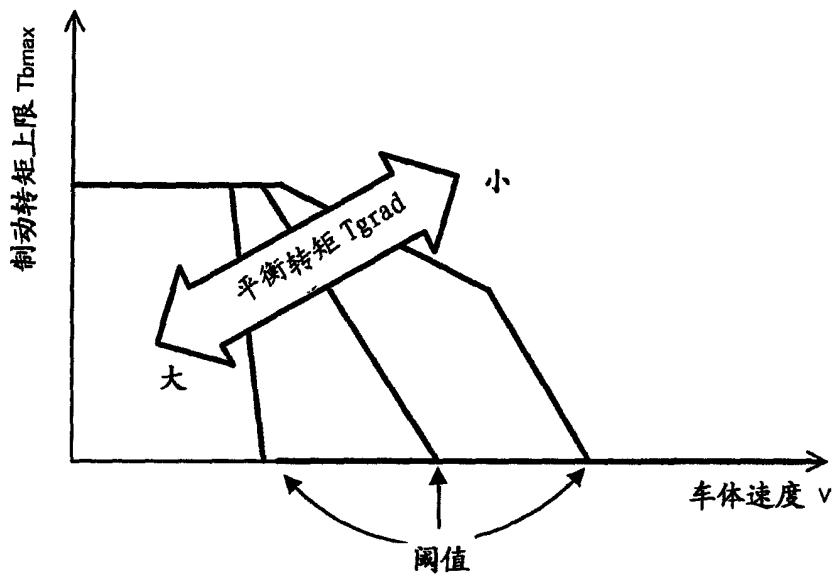


图 11

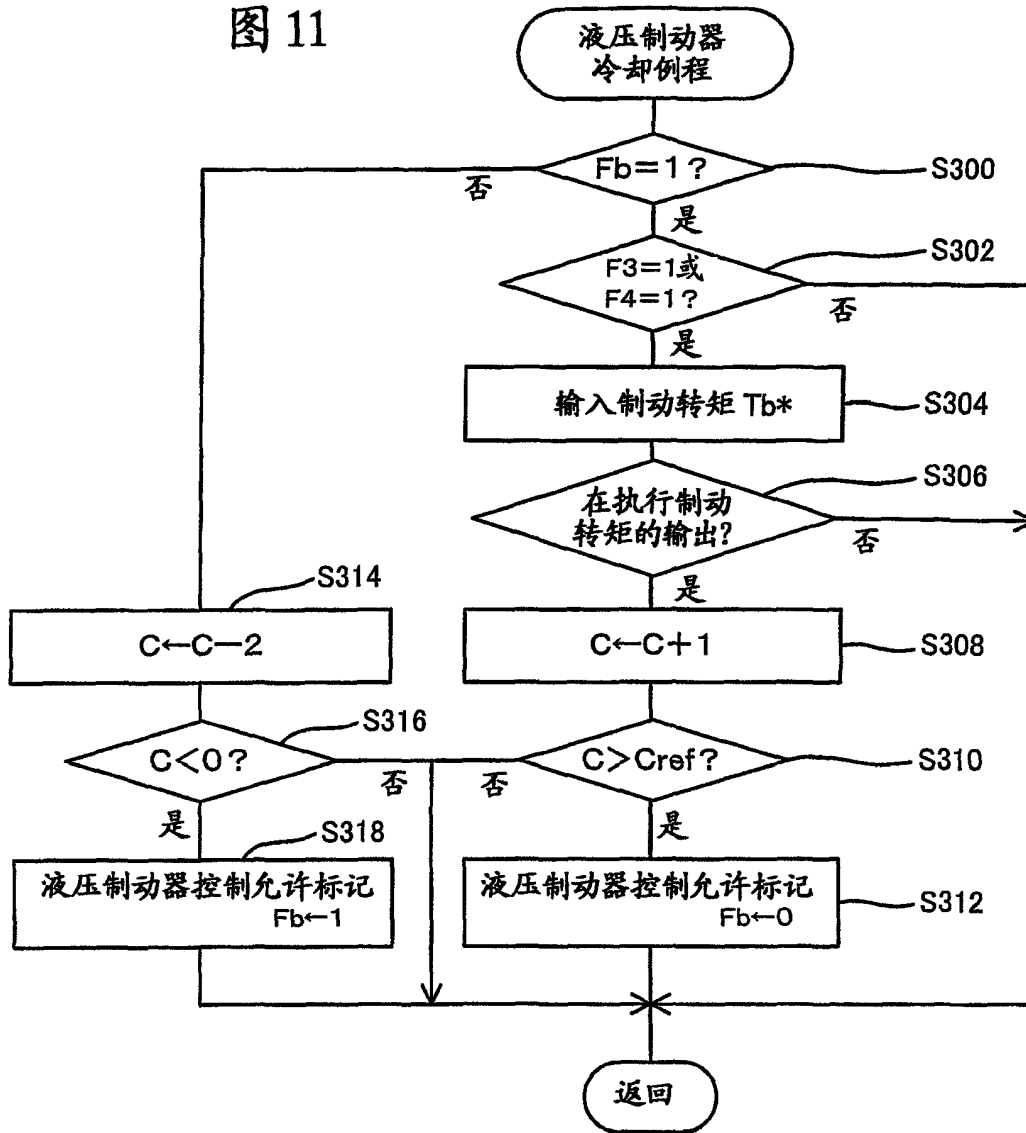


图 12

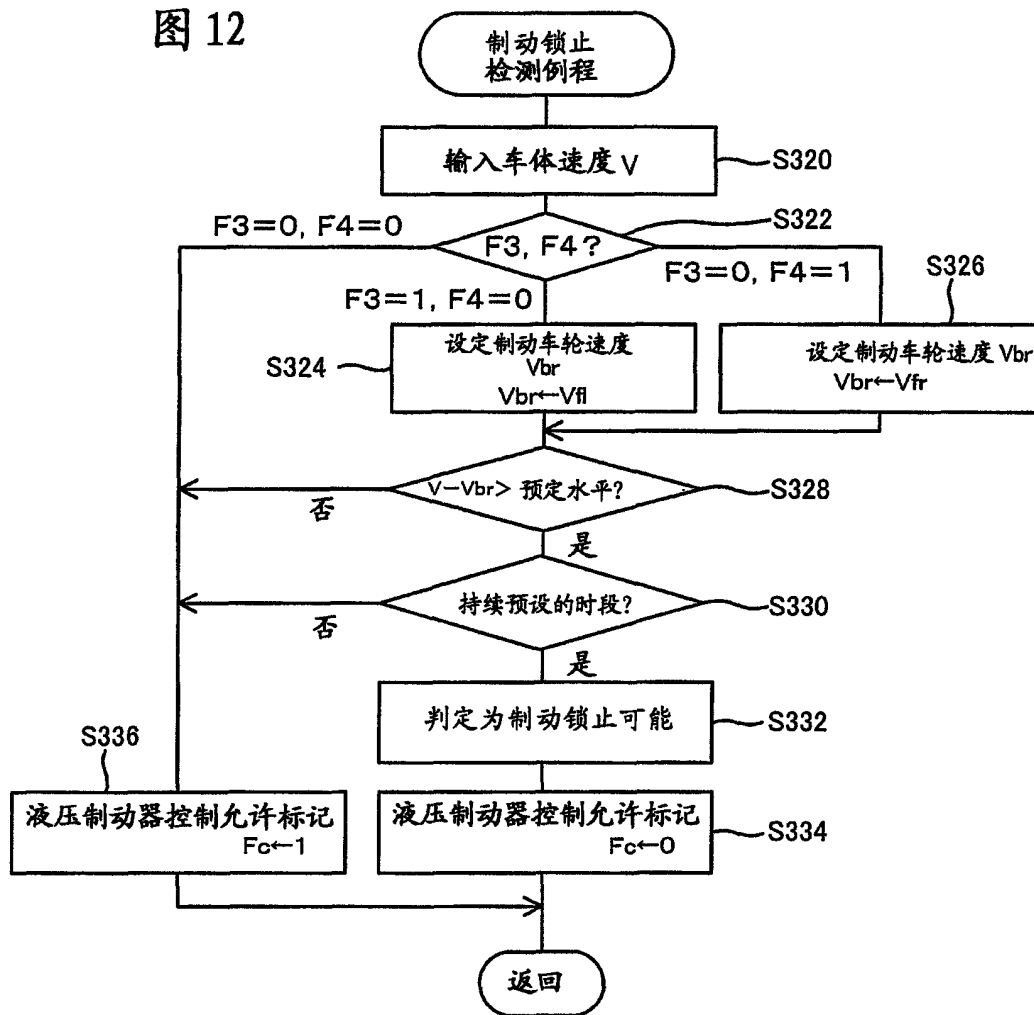


图 13

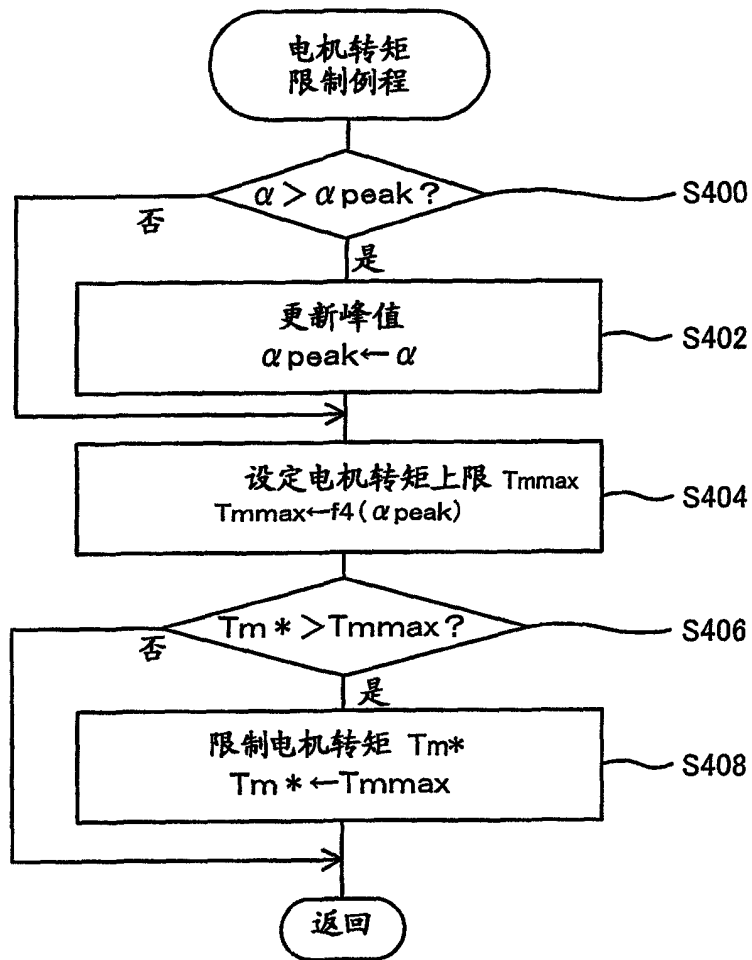


图 14

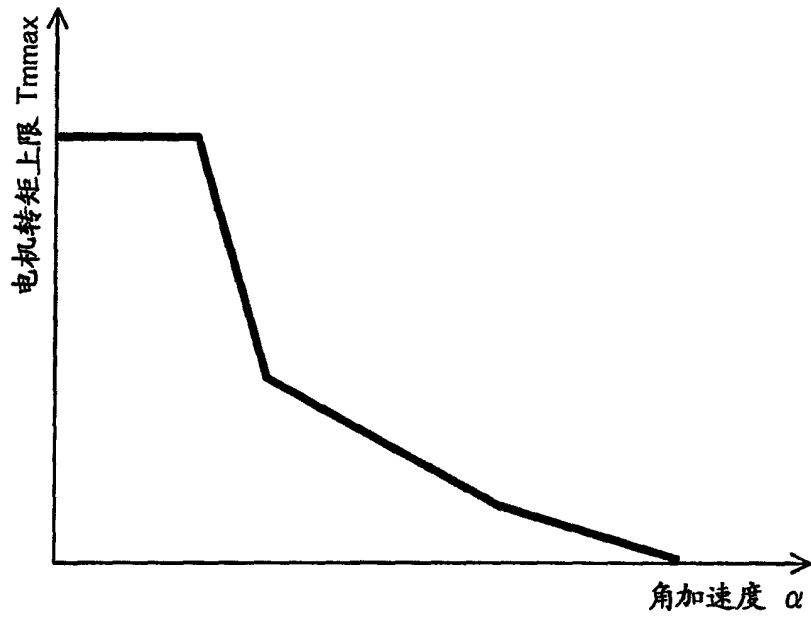




图 15

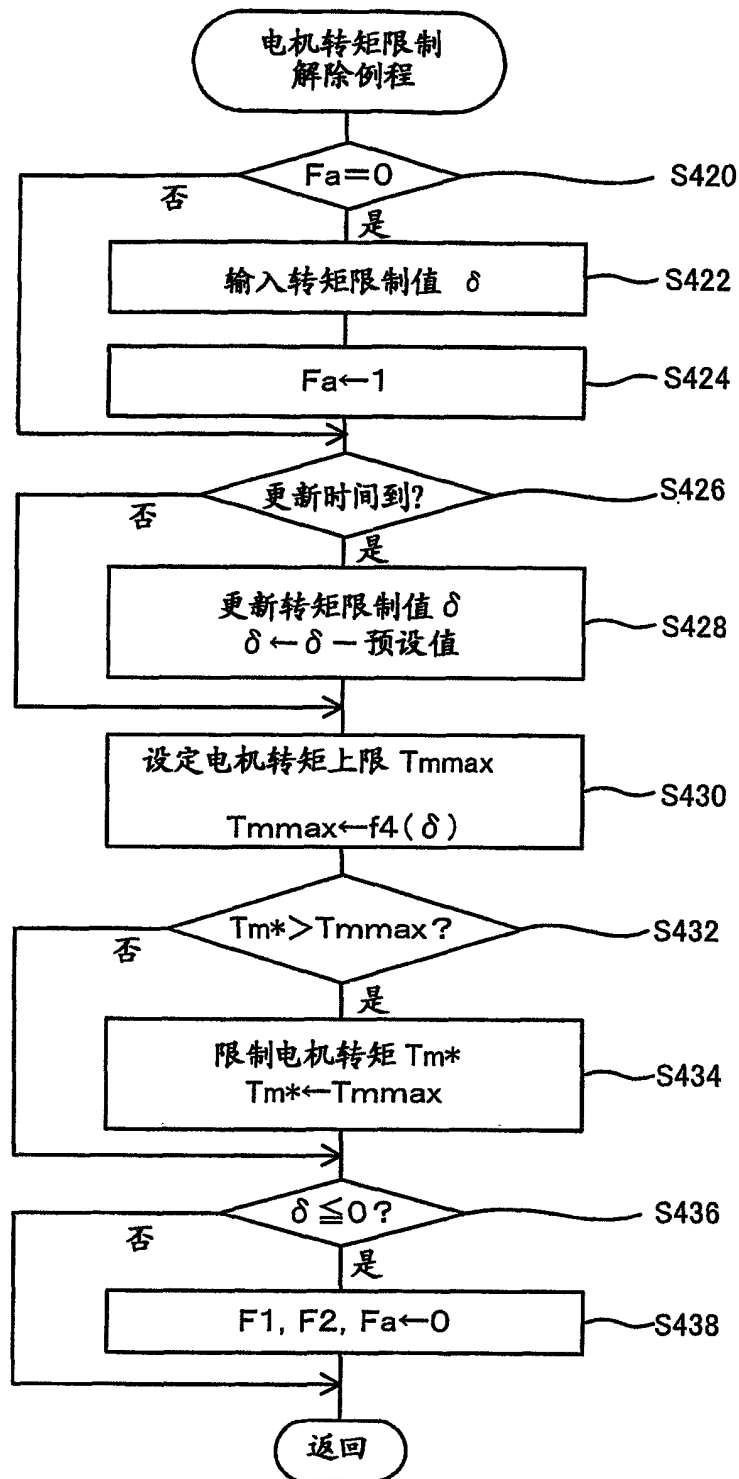


图 16

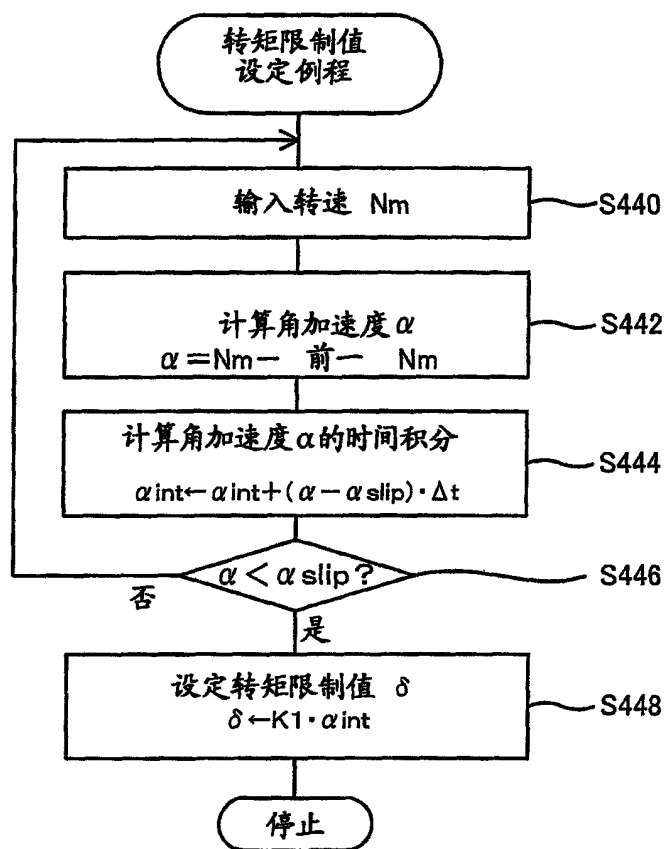
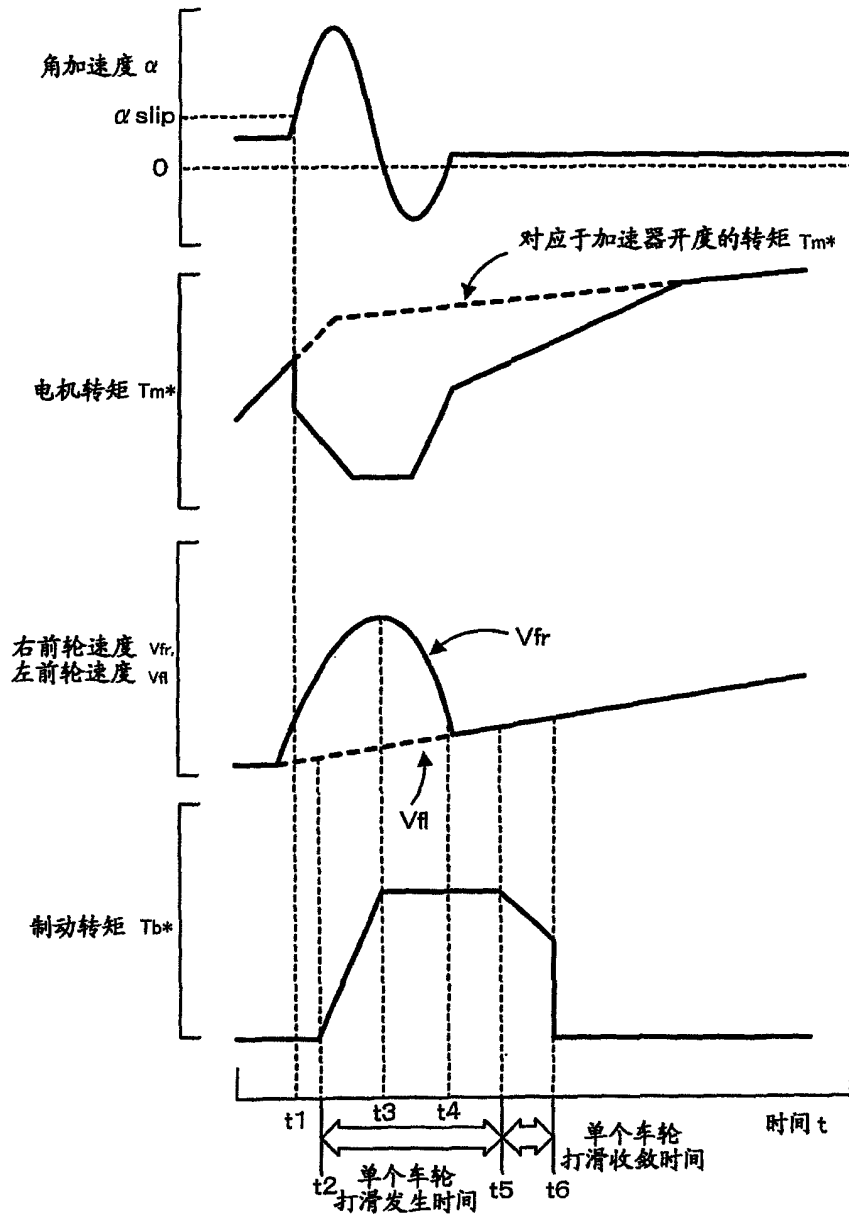


图 17



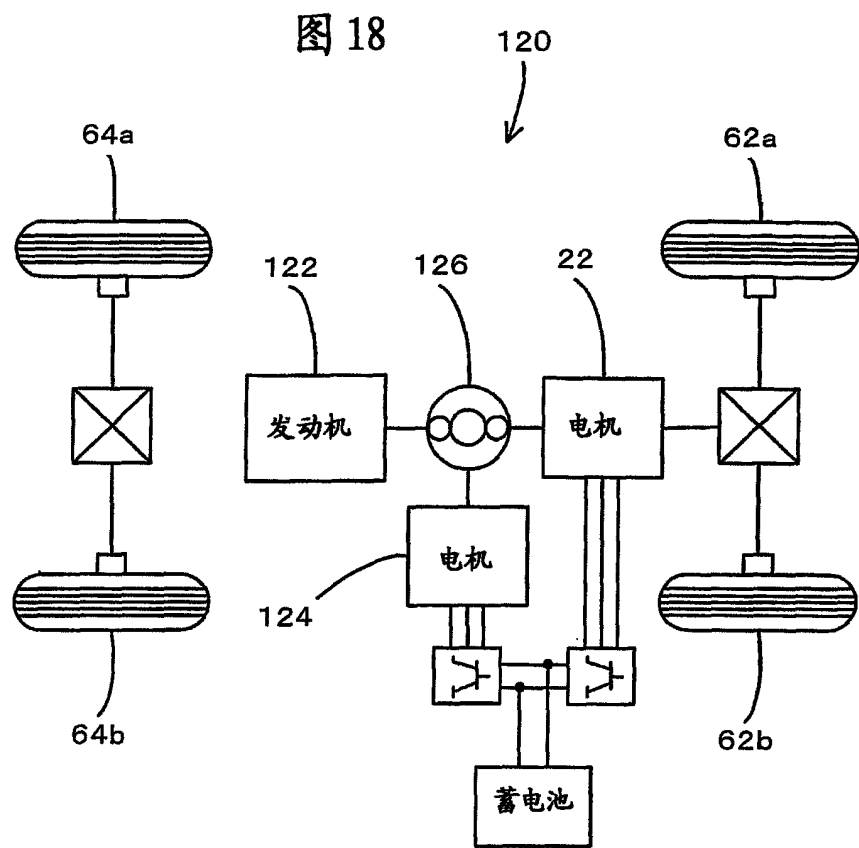


图 19

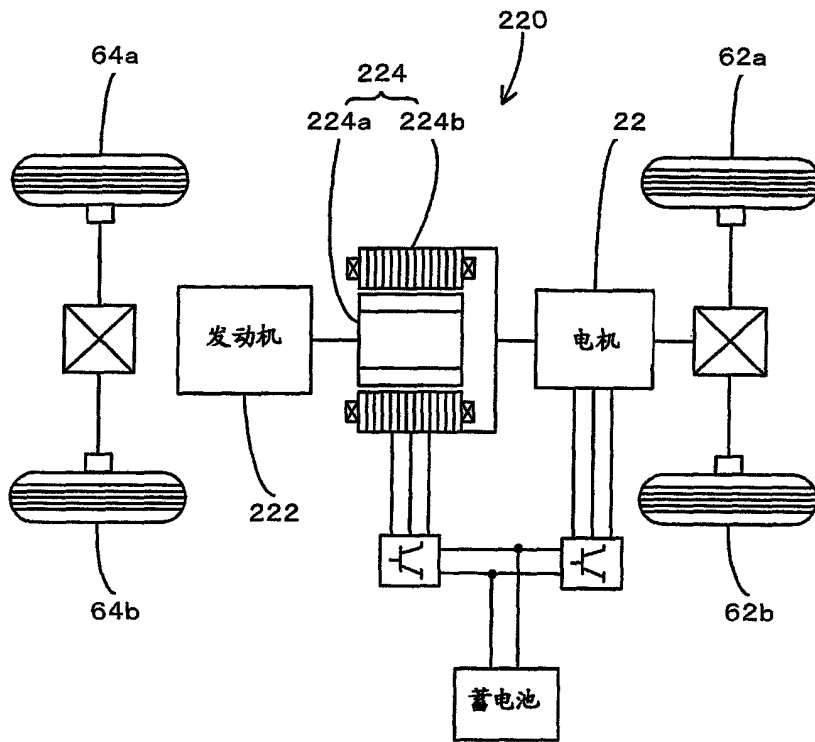


图 20

