



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102781711 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 10

(21) 申请号 201080065059. 9

(22) 申请日 2010. 03. 01

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2012. 08. 31

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2010/053195 2010. 03. 01

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02011/108058 JA 2011. 09. 09

(73) 专利权人 丰田自动车株式会社  
地址 日本爱知县

(72) 发明人 中村诚 佐藤亮次 相马贵也

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所  
11247

代理人 段承恩 徐健

(51) Int. Cl.  
B60L 9/18 (2006. 01)  
B60L 11/18 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1974261 A, 2007. 06. 06,  
US 2008255716 A1, 2008. 10. 16,  
JP 2009131077 A, 2009. 06. 11,

审查员 裴京礼

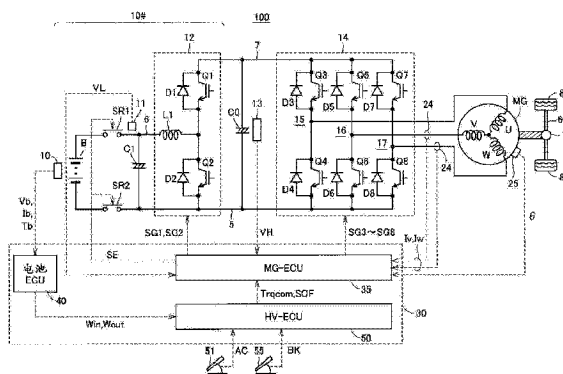
权利要求书4页 说明书16页 附图10页

(54) 发明名称

电动车辆及其控制方法

(57) 摘要

电动车辆(100)具有:电动发电机(MG), 构成为能够在该电动发电机和与驱动轮(80)联结的驱动轴(60)之间相互传递转矩;包括蓄电装置(B)的直流电源(10#);和变换器(14), 用于在直流电源和电动发电机之间进行双向的直流/交流电力变换。MG-ECU(35)按照电动发电机的转矩指令值( $Trq_{com}$ )和状态值来控制多个电力用半导体开关元件(Q3-Q8)的接通断开。MG-ECU(35)在加速踏板(51)释放时, 根据蓄电装置(B)的充电状态来控制变换器(14), 以在电动发电机(MG)的各相交流电流上叠加直流电流成分。



1. 一种电动车辆,具有:

电动发电机 (MG),构成为能够在该电动发电机和与驱动轮 (80) 联结的驱动轴 (60) 之间相互传递转矩;

包括蓄电装置 (B) 的直流电源 (10#);

变换器 (14),用于在所述直流电源和所述电动发电机之间进行双向的直流 / 交流电力变换 ;和

马达控制部 (35),用于根据所述电动发电机的转矩指令值 ( $Trqcom$ ) 和状态值,控制构成所述变换器的多个电力用半导体开关元件 (Q3-Q8),

所述马达控制部包括直流偏置生成部 (260),所述直流偏置生成部 (260) 用于在加速踏板 (51) 释放时,根据所述蓄电装置的充电状态来控制所述变换器,以为了使所述电动发电机输出减速转矩而在所述电动发电机的各相交流电流上叠加直流电流成分 ( $I_f$ )。

2. 如权利要求 1 所述的电动车辆,还具有:

充放电监视部 (40),用于基于所述蓄电装置 (B) 的充电状态,设定所述蓄电装置的充电电力上限值 ( $Win$ );和

车辆控制部 (50),用于基于车辆状态和由所述充放电监视部所设定的所述充电电力上限值,设定所述转矩指令值,

所述车辆控制部包括判定部 (52),所述判定部 (52) 用于判定相当于再生发电电力的第 1 电力 ( $-Wrb\#$ ) 是否超过所述充电电力上限值,所述再生发电电力是通过由所述电动发电机 (MG) 输出在所述加速踏板 (51) 释放时为了确保预定的减速度所需的减速转矩 ( $-Trb$ ) 而产生的,

在所述加速踏板 (51) 释放时,当判定为所述第 1 电力超过所述充电电力上限值时,所述直流偏置生成部 (260) 控制所述变换器 (14),以在所述各相交流电流上叠加所述直流电流成分 ( $I_f$ )。

3. 如权利要求 2 所述的电动车辆,

所述车辆控制部 (50) 还包括转矩指令值设定部 (54),所述转矩指令值设定部 (54) 用于以所述电动发电机 (MG) 产生的再生发电电力不超过所述充电电力上限值 ( $Win$ ) 的范围内的方式来限制并设定所述转矩指令值 ( $Trqcom$ ),

在所述第 1 电力 ( $-Wrb\#$ ) 超过所述充电电力上限值的充电限制时所述加速踏板 (51) 释放时,所述直流偏置生成部 (260) 和所述转矩指令值设定部设定所述直流电流成分的电流量和所述转矩指令值,以通过所述转矩指令值与由所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 产生的拖拽转矩之和来确保所述所需的减速转矩。

4. 如权利要求 3 所述的电动车辆,

在所述充电电力上限值 ( $Win$ ) 被设定为零的充电禁止时,所述转矩指令值设定部 (54) 将所述转矩指令值 ( $Trqcom$ ) 设定为零,

在所述充电禁止时,所述直流偏置生成部 (260) 将所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 的电流流量设定为预定值 ( $I1$ )。

5. 如权利要求 1 所述的电动车辆,还具有:

充放电监视部 (40),用于基于所述蓄电装置 (B) 的充电状态,设定所述蓄电装置的充电电力上限值 ( $Win$ );和

车辆控制部 (50), 用于基于车辆状态和由所述充放电监视部所设定的所述充电电力上限值, 设定所述转矩指令值 ( $Trqcom$ ),

在所述充电电力上限值被设定为零的充电禁止时, 所述车辆控制部将所述转矩指令值设定为零,

在所述充电禁止时, 所述直流偏置生成部 (260) 将所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 的电流量设定为预定值 ( $I1$ )。

6. 如权利要求 1 至 5 中任一项所述的电动车辆,

所述马达控制部 (35) 包括:

控制指令生成部 (210、220、240、250), 用于基于所述转矩指令值 ( $Trqcom$ ) 和所述状态值, 生成向所述电动发电机 (MG) 施加的施加电压的电压指令值 ( $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ );

加法运算部 (251-253), 用于在所述直流偏置生成部 (260) 执行所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 的叠加时, 对所述电压指令值加上与所述直流电流成分相应的偏置电压 ( $V_f$ );

载波控制部 (270), 用于控制载波的频率 ( $f_c$ ); 和

调制部 (280), 用于基于由所述加法运算部处理后的所述电压指令值与所述载波的比较, 生成所述多个电力用半导体开关元件 (Q3-Q8) 的接通断开控制信号 (SG3-SG8),

在执行所述直流电流成分的叠加时, 与不执行所述直流电流成分的叠加时相比较, 所述载波控制部使所述载波的频率上升。

7. 如权利要求 1 或 5 所述的电动车辆,

所述马达控制部 (35) 还包括用于推定所述电动发电机 (MG) 的退磁率的退磁率推定部 (58),

所述直流偏置生成部 (260) 根据所述退磁率的推定值 ( $D_{dm}$ ), 对在所述各相交流电流上叠加直流电流成分 ( $I_f$ ) 的期间 ( $T_f$ ) 进行限制。

8. 如权利要求 1 或 5 所述的电动车辆,

所述马达控制部 (35) 还包括用于推定所述电动发电机 (MG) 的退磁率的退磁率推定部 (58),

所述直流偏置生成部 (260) 根据所述退磁率的推定值 ( $D_{dm}$ ), 可变地设定在所述各相交流电流上叠加的直流电流成分 ( $I_f$ ) 的电流量。

9. 一种电动车辆的控制方法, 所述电动车辆具有: 电动发电机 (MG), 构成为能够在该电动发电机和与驱动轮 (80) 联结的驱动轴 (60) 之间相互传递转矩; 包括蓄电装置 (B) 的直流电源 (10#); 和变换器 (14), 用于在所述直流电源和所述电动发电机之间进行双向的直流 / 交流电力变换, 所述电动车辆的控制方法包括:

检测步骤 (S100), 检测加速踏板 (51) 的释放; 和

控制步骤 (S130), 在所述加速踏板的释放时, 根据所述蓄电装置的充电状态来控制所述变换器, 以为了使所述电动发电动机输出减速转矩而在所述电动发电机的各相交流电流上叠加直流电流成分 ( $I_f$ )。

10. 如权利要求 9 所述的电动车辆的控制方法, 还包括:

计算步骤 (S110), 计算相当于再生发电电力的第 1 电力 ( $-W_{rb\#}$ ), 所述再生发电电力是通过由所述电动发电机 (MG) 输出在所述加速踏板 (51) 释放时为了确保预定的减速度所需的减速转矩 ( $-Tr_b$ ) 而产生的; 和

比较步骤 (S120), 对所述第 1 电力和基于所述蓄电装置的充电状态所设定的充电电力上限值 ( $W_{in}$ ) 进行比较,

所述控制步骤 (S130) 中, 在所述第 1 电力超过所述充电电力上限值时, 在所述各相交流电流上叠加所述直流电流成分 ( $I_f$ )。

11. 如权利要求 10 所述的电动车辆的控制方法,

还包括如下的步骤 (S160): 在所述第 1 电力 ( $-W_{rb\#}$ ) 超过所述充电电力上限值 ( $W_{in}$ ) 的充电限制时所述加速踏板 (51) 释放时, 以所述电动发电机 (MG) 产生的再生发电电力不超过所述充电电力上限值的范围内的方式来限制并设定所述电动发电机的转矩指令值 ( $Trq_{com}$ ), 并且设定所述直流电流成分的电流值, 以通过所述转矩指令值与由所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 产生的拖拽转矩之和来确保所述所需的减速转矩 ( $-Trb$ )。

12. 如权利要求 10 所述的电动车辆的控制方法, 还包括:

在所述第 1 电力 ( $-W_{rb\#}$ ) 超过所述充电电力上限值 ( $W_{in}$ ) 时, 判定是否处于所述充电电力上限值被设定为零的充电禁止时的步骤 (S150);

在所述充电禁止时, 将所述电动发电机 (MG) 的转矩指令值 ( $Trq_{com}$ ) 设定为零, 并且将所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 的电流值设定为预定值的步骤 (S155); 和

在所述充电电力上限值不为零时, 以所述电动发电机产生的再生发电电力不超过所述充电电力上限值的范围内的方式来限制并设定所述转矩指令值, 并且设定所述直流电流成分的电流值, 以通过所述转矩指令值与由所述直流电流成分产生的拖拽转矩之和来确保所述所需的减速转矩 ( $-Trb$ ) 的步骤 (S160)。

13. 如权利要求 9 所述的电动车辆的控制方法,

还包括如下的步骤 (S155): 在所述蓄电装置 (B) 的充电电力上限值 ( $W_{in}$ ) 被设定为零的充电禁止时所述加速踏板 (51) 释放时, 将所述电动发电机 (MG) 的转矩指令值 ( $Trq_{com}$ ) 设定为零, 并且将所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 的电流值设定为预定值 ( $I_1$ )。

14. 如权利要求 9 至 13 中任一项所述的电动车辆的控制方法,

根据向所述电动发电机 (MG) 施加的施加电压的电压指令值 ( $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ ) 与载波的比较, 控制构成所述变换器 (14) 的多个电力用半导体开关元件 (Q3-Q8) 的接通断开,

在所述控制步骤 (S130) 中执行所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 的叠加时, 对所述电压指令值加上与所述直流电流成分相应的偏置电压 ( $V_f$ ),

所述控制方法还包括:

判定是否通过所述控制步骤执行所述直流电流成分的叠加的步骤 (S200);

在不执行所述直流电流成分的叠加时, 将所述载波的频率 ( $f_c$ ) 设定为第 1 频率 ( $f_1$ ) 的步骤 (S210); 和

在执行所述直流电流成分的叠加时, 将所述载波的频率设定为比所述第 1 频率高的第 2 频率 ( $f_2$ ) 的步骤 (S220)。

15. 如权利要求 9 或 13 所述的电动车辆的控制方法, 还包括:

推定所述电动发电机 (MG) 的退磁率的步骤 (S260); 和

根据所述退磁率的推定值 ( $D_{dm}$ ), 对在所述各相交流电流上叠加所述直流电流成分 ( $I_f$ ) 的期间进行限制的步骤 (S270)。

16. 如权利要求 9 或 13 所述的电动车辆的控制方法, 还包括:

推定所述电动机(MG)的退磁率的步骤(S260);和  
根据所述退磁率的推定值(Ddm),可变地设定在所述各相交流电流上叠加的所述直流  
电流成分(I<sub>f</sub>)的大小的步骤(S270)。

## 电动车辆及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电动车辆及其控制方法,更具体地说,涉及搭载有行驶用电动机的电动车辆的加速踏板释放时的电动机控制。

### 背景技术

[0002] 近年来,作为环保型汽车,混合动力汽车、电动汽车、燃料电池汽车等电动车辆受到注目。这样的电动车辆具有由二次电池等构成的蓄电装置和能够接受来自该蓄电装置的电力来产生驱动力的作为行驶用电动机的电动发电机。电动发电机在加速时产生车辆驱动力,另一方面,在制动时等减速时进行将车辆的动能转换为电能的再生发电。在电动车辆中,通过对蓄电装置充电来回收来自电动发电机的再生电力,从而提高能量效率。

[0003] 另一方面,若来自电动发电机的再生电力变得过剩,则有可能产生过电压和蓄电装置的过充电这样的部件保护上的问题。因此,需要进行控制以使来自电动发电机的再生电力不会过剩。

[0004] 例如,日本特开 2009-219189 号公报(专利文献 1)中记载了如下结构:在能够以发动机驱动前后轮的一方、以马达驱动另一方的四轮驱动车辆中,在对以发动机驱动的发电机的交流电压进行整流、将整流后的交流电压利用变换器进行变换并向马达提供交流电压的情况下,抑制防止由过电压导致的变换器开关元件的损伤。

[0005] 具体地说,专利文献 1 中记载了:当检测到车辆驱动用电动机的回滚状态时,通过设定目标电枢电流以使对转矩产生不起作用的 d 轴电流流动,从而消耗由行驶用电动机的再生产生的发电电力。由此,由于能够抑制由来自行驶用电动机的再生电力过剩导致的变换器的直流链电压的增大,所以能够防止构成变换器的开关元件的损伤。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献 1:日本特开 2009-219189 号公报

### 发明内容

[0008] 发明要解决的问题

[0009] 在电动车辆通过电动发电机的输出来行驶的情况下,当加速踏板释放时,为了实现与所谓的发动机制动相当的减速度,需要电动发电机产生减速转矩。然而,由于通过电动发电机产生减速转矩伴有再生发电,所以在禁止或限制蓄电装置充电的情况下,需要考虑避免发生蓄电装置的过充电。

[0010] 例如,根据专利文献 1 的技术,由于能够通过增大 d 轴电流来增大电动发电机的消耗电力,所以可期待在产生减速转矩的同时抑制来自电动发电机的再生电力。

[0011] 然而,如周知的那样,在基于 d-q 轴变换的电动机控制(向量控制)中,为了产生作为直流成分的 d 轴电流,通过使用了电动发电机的转子旋转角的 2 相-3 相变换,控制向电动发电机施加的交流电压。因此,在旋转角传感器产生误差的情况下,因误差的影响有可能导致无法产生期望的 d 轴电流或产生不期望的减速转矩,由此导致来自电动发电机的再生

电力变得过剩。

[0012] 另外,在禁止向蓄电装置充电的情况下,需要进行控制以避免产生来自电动发电机的再生电力。在该情况下,需要控制向电动发电机施加的交流电压,以使电动发电机的输出转矩变为零的旋转磁场在定子产生。然而,当旋转角传感器产生误差时,因控制误差而产生减速转矩,从而有可能产生再生电力。

[0013] 如以上所述,可以理解:在电动车辆中,在蓄电装置的充电被限制/禁止的状态下释放加速踏板时,需要对行驶用电动机(电动发电机)进行慎重控制。

[0014] 本发明是为了解决这样的问题而提出的,其目的在于,在搭载有行驶用电动机(电动发电机)的电动车辆中,在加速踏板释放时对车辆行驶用电动机(电动发电机)进行适当控制,以防止蓄电装置的过充电。

[0015] 用于解决问题的手段

[0016] 本发明的一种方式中,一种电动车辆,具有电动发电机、包括蓄电装置的直流电源以及马达控制部。电动发电机构成为能够在该电动发电机和与驱动轮联结的驱动轴之间相互传递转矩。变换器构成为在直流电源和电动发电机之间进行双向的直流/交流电力变换。马达控制部构成为根据电动发电机的转矩指令值和状态值,控制构成变换器的多个电力用半导体开关元件。马达控制部包括直流偏置生成部,该直流偏置生成部用于在加速踏板释放时,根据蓄电装置的充电状态来控制变换器,以在电动发电机的各相交流电流上叠加直流电流成分。

[0017] 优选,电动车辆还具有充放电监视部和车辆控制部。充放电监视部构成为基于蓄电装置的充电状态,设定蓄电装置的充电电力上限值。车辆控制部构成为基于车辆状态和由充放电监视部所设定的充电电力上限值,设定转矩指令值。车辆控制部包括判定部。判定部构成为判定相当于再生发电电力的第1电力是否超过充电电力上限值,所述再生发电电力是通过由电动发电机输出在加速踏板释放时为了确保预定的减速度所需的减速转矩而产生的。在加速踏板释放时,当判定为第1电力超过充电电力上限值时,直流偏置生成部控制变换器,以在各相交流电流上叠加直流电流成分。

[0018] 更优选,车辆控制部还包括转矩指令值设定部。该转矩指令值设定部用于以电动发电机产生的再生发电电力不超过充电电力上限值的范围内的方式来限制并设定转矩指令值。并且,在第1电力超过充电电力上限值的充电限制时加速踏板释放时,直流偏置生成部和转矩指令值设定部设定直流电流成分的电流量和转矩指令值,以通过转矩指令值与由直流电流成分产生的拖拽转矩之和来确保所需的减速转矩。

[0019] 更优选,在充电电力上限值被设定为零的充电禁止时,转矩指令值设定部将转矩指令值设定为零。在充电禁止时,直流偏置生成部将直流电流成分的电流量设定为预定值。

[0020] 优选,电动车辆还具有充放电监视部和车辆控制部。充放电监视部构成为基于蓄电装置的充电状态,设定蓄电装置的充电电力上限值。车辆控制部构成为基于车辆状态和由充放电监视部所设定的充电电力上限值,设定转矩指令值。在充电电力上限值被设定为零的充电禁止时,车辆控制部将转矩指令值设定为零,在充电禁止时,直流偏置生成部将直流电流成分的电流量设定为预定值。

[0021] 另外,优选,马达控制部包括控制指令生成部、加法运算部、载波控制部和调制部。控制指令生成部构成为基于转矩指令值和状态值,生成向电动发电机施加的施加电压的电

压指令值。加法运算部构成为在直流偏置生成部执行直流电流成分的叠加时,对电压指令值加上与直流电流成分相应的偏置电压。载波控制部控制载波的频率。调制部构成为基于由加法运算部处理后的电压指令值与载波的比较,生成多个电力用半导体开关元件的接通断开控制信号。并且,在执行直流电流成分的叠加时,与不执行直流电流成分的叠加时相比较,载波控制部使载波的频率上升。

[0022] 另外,优选,马达控制部还包括用于推定电动发电机的退磁率的退磁率推定部。并且,直流偏置生成部根据退磁率的推定值,对在各相交流电流上叠加直流电流成分的期间进行限制。或者,直流偏置生成部根据退磁率的推定值,可变地设定在各相交流电流上叠加的直流电流成分的电流值。

[0023] 本发明的另一方式中,一种电动车辆的控制方法,电动车辆具有:电动发电机,构成为能够在该电动发电机和与驱动轮联结的驱动轴之间相互传递转矩;包括蓄电装置的直流电源;和变换器,用于在直流电源和电动发电机之间进行双向的直流/交流电力变换。控制方法包括:检测步骤,检测加速踏板的释放;和控制步骤,在加速踏板的释放时,根据蓄电装置的充电状态来控制变换器,以在电动发电机的各相交流电流上叠加直流电流成分。

[0024] 优选,控制方法还包括:计算步骤,计算相当于再生发电电力的第1电力,所述再生发电电力是通过由电动发电机输出在加速踏板释放时为了确保预定的减速度所需的减速转矩而产生的;和比较步骤,对第1电力和基于蓄电装置的充电状态所设定的充电电力上限值进行比较。并且,控制步骤中,在第1电力超过充电电力上限值时,在各相交流电流上叠加直流电流成分。

[0025] 更优选,控制方法还包括如下的步骤:在第1电力超过充电电力上限值的充电限制时加速踏板释放时,以电动发电机产生的再生发电电力不超过充电电力上限值的范围内的方式来限制并设定电动发电机的转矩指令值,并且设定直流电流成分的电流值,以通过转矩指令值与由直流电流成分产生的拖拽转矩之和来确保所需的减速转矩。

[0026] 或者,更优选,控制方法还包括:在第1电力超过充电电力上限值时,判定是否处于充电电力上限值被设定为零的充电禁止时的步骤;在充电禁止时,将电动发电机的转矩指令值设定为零,并且将直流电流成分的电流值设定为预定值的步骤;和在充电电力上限值不为零时,以电动发电机产生的再生发电电力不超过充电电力上限值的范围内的方式来限制并设定转矩指令值,并且设定直流电流成分的电流值,以通过转矩指令值与由直流电流成分产生的拖拽转矩之和来确保所需的减速转矩的步骤。

[0027] 优选,控制方法还包括如下的步骤:在蓄电装置的充电电力上限值被设定为零的充电禁止时加速踏板释放时,将电动发电机的转矩指令值设定为零,并且将直流电流成分的电流值设定为预定值。

[0028] 另外,优选,根据向电动发电机施加的施加电压的电压指令值与载波的比较,控制构成变换器的多个电力用半导体开关元件的接通断开。并且,在控制步骤中执行直流电流成分的叠加时,对电压指令值加上与直流电流成分相应的偏置电压。控制方法还包括:判定是否通过控制步骤执行直流电流成分的叠加的步骤;在不执行直流电流成分的叠加时,将载波的频率设定为第1频率的步骤;和在执行直流电流成分的叠加时,将载波的频率设定为比第1频率高的第2频率的步骤。

[0029] 或者,优选,控制方法还包括:推定电动发电机的退磁率的步骤;和根据退磁率的



推定值,对在各相交流电流上叠加直流电流成分的期间进行限制的步骤。或者,控制方法还包括:推定电动发电机的退磁率的步骤;和根据退磁率的推定值,可变地设定在各相交流电流上叠加的直流电流成分的大小的步骤。

[0030] 发明的效果

[0031] 根据本发明,在搭载有车辆行驶用电动机(电动发电机)的电动车辆中,能够在加速踏板释放时适当地控制车辆行驶用电动机(电动发电机),以防止蓄电装置的过充电。

#### 附图说明

[0032] 图 1 是说明本发明的实施方式 1 的电动车辆的概略结构的框图。

[0033] 图 2 是表示用于防止电动车辆的加速踏板释放时电池的过充电的转矩指令值的设定方式的一例的图。

[0034] 图 3 是用于说明本发明的实施方式 1 的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制的框图。

[0035] 图 4 是说明向电动发电机的各相电流叠加直流电流的波形图。

[0036] 图 5 是用于说明本实施方式 1 的电动车辆中的电动发电机的控制结构的框图。

[0037] 图 6 是表示本发明的实施方式 1 的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制的控制处理步骤的流程图。

[0038] 图 7 是说明电动车辆的加速踏板释放时伴随电池充电限制的转矩指令值的设定的图。

[0039] 图 8 是说明本发明的实施方式 2 的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制中的偏置电流的设定的图。

[0040] 图 9 是用于说明本发明的实施方式 2 的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制的框图。

[0041] 图 10 是表示本发明的实施方式 2 的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制的控制处理步骤的流程图。

[0042] 图 11 是说明本发明的实施方式 3 的电动车辆的载波控制部的功能的框图。

[0043] 图 12 是用于说明由图 11 所示的载波控制部进行的控制的流程图。

[0044] 图 13 是说明由图 12 所示的载波控制引起的电动发电机的各相电流变化的概念图。

[0045] 图 14 是用于说明本发明的实施方式 3 的变形例的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制的框图。

[0046] 图 15 是说明偏置电流的可变设定的概念图。

[0047] 图 16 是说明偏置电流的叠加期间的定义的概念图。

[0048] 图 17 是说明偏置电流的叠加期间的可变设定的概念图。

[0049] 图 18 是用于说明本发明的实施方式 3 的变形例的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制的控制处理步骤的流程图。

#### 具体实施方式

[0050] 下面,参照附图详细说明本发明的实施方式。此外,对以下图中的相同或相当部分

标注同一附图标记并且原则上不重复对其进行说明。

[0051] [实施方式 1]

[0052] 图 1 是说明本发明的实施方式 1 的电动车辆 100 的概略结构的框图。此外,电动车辆 100 包括混合动力汽车、电动汽车和燃料电池车等通过电能产生车辆驱动力的汽车。即,电动车辆 100 中,作为驱动力源至少具有构成为产生车辆驱动力的电动发电机 MG。在电动车辆 100 为混合动力汽车时,作为驱动力源,除了电动发电机 MG 之外,还搭载有未图示的发动机。

[0053] 参照图 1,电动车辆 100 具有直流电源部 10#、平滑电容器 C0、变换器 14、电动发电机 MG、控制装置 30、加速踏板 51、制动踏板 55、驱动轴 60、差速齿轮 70 和驱动轮 80。

[0054] 直流电源部 10# 包括蓄电装置 B、系统继电器 SR1、SR2、平滑电容器 C1 和转换器 12。

[0055] 蓄电装置 B 代表性地由镍氢或锂离子等的二次电池构成,因此以下也将蓄电装置 B 记为电池(battery)B。但是,关于“蓄电装置”,不仅适用电池,也能够适用双电荷层电容器等,关于这一点进行确认性地记载。

[0056] 针对电池 B,配置有包括传感器群的监视单元 10。监视单元 10 构成为检测蓄电装置的输出电压 Vb、输出电流 Ib 和温度 Tb,并监视其异常值的发生。此外,针对输出电流 Ib,以正值( $I_b > 0$ )表示蓄电装置 B 放电时,另一方面,以负值( $I_b < 0$ )表示充电时。由监视单元 10 检测到的检测值向控制装置 30 输出。

[0057] 系统继电器 SR1 连接在电池 B 的正极端子和电力线 6 之间、系统继电器 SR1 连接在电池 B 的负极端子和接地线 5 之间。系统继电器 SR1、SR2 通过控制信号 SE 来接通 / 断开。

[0058] 平滑电容器 C1 连接在电力线 6 和接地线 5 之间。电压传感器 11 检测平滑电容器 C1 两端的电压,即电力线 6 的直流电压 VL,并将该检测值向控制装置 30 输出。

[0059] 转换器 12 包括电抗器 L1 和电力用半导体开关元件 Q1、Q2。电力用半导体开关元件 Q1 和 Q2 在电力线 7 和接地线 5 之间串联连接。电力用半导体开关元件 Q1 和 Q2 的连接 / 断开通过开关控制信号 SG1 和 SG2 来控制。

[0060] 在本发明的实施方式中,作为电力用半导体开关元件(以下,简称为“开关元件”),能够使用 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor:绝缘栅双极型晶体管)、电力用 MOS(Metal Oxide Semiconductor:金属氧化物半导体)晶体管或电力用双极晶体管等。对开关元件 Q1、Q2 配置有逆并联二极管 D1、D2。电抗器 L1 连接在开关元件 Q1 与 Q2 的连接节点和电力线 6 之间。

[0061] 平滑电容器 C0 连接在电力线 7 和接地线 5 之间。电压传感器 13 检测平滑电容器 C0 两端的电压,即电力线 7 的直流电压 VH,并将该检测值向控制装置 30 输出。以下,将与变换器 14 的直流侧电压相当的直流电压 VH 也称为系统电压 VH。

[0062] 转换器 12 通过开关元件 Q1 和 / 或 Q2 的接通断开控制,在直流电压 VL 和 VH 之间执行双向的直流电压变换。根据开关元件 Q1、Q2 的占空比来控制由转换器 12 实现的电压变换比( $VH/VL$ )。具体地说,根据电动发电机 MG 的状态设定电压指令值  $VHr$ ,并且基于直流电压 VH、VL 的检测值控制转换器 12 的占空比。此外,在不需要将直流电压 VH 从直流电压 VL 升压的情况下,也能够通过将开关元件 Q1 和 Q2 分别固定为接通和断开来使  $VH=VL$  (电

压变换比 =1.0)。

[0063] 在转换器 12 中,基本上控制为在各开关动作周期内开关元件 Q1 和 Q2 互补且交替地接通断开。这样一来,无需根据转换器 12 的电流方向特意切换控制动作,能够与电池 B 的充电和放电中的任一方对应地,将直流电压  $V_H$  控制为电压指令值  $V_{Hr}$ 。

[0064] 变换器 14 由在电力线 7 和接地线 5 之间并联设置的 U 相上下臂 15、V 相上下臂 16 和 W 相上下臂 17 构成。各相上下臂由在电力线 7 和接地线 5 之间串联连接的开关元件构成。例如,U 相上下臂 15 由开关元件 Q3、Q4 构成,V 相上下臂 16 由开关元件 Q5、Q6 构成,W 相上下臂 17 由开关元件 Q7、Q8 构成。另外,相对于开关元件 Q3 ~ Q8,分别连接有逆并联二极管 D3 ~ D8。开关元件 Q3 ~ Q8 的接通断开通过来自控制装置 30 的开关控制信号 SG3 ~ SG8 来控制。

[0065] 电动发电机 MG 代表性地由 3 相永磁体型同步电机构成,卷绕于未图示的定子的 U、V、W 相 3 个线圈的一端共同连接于中性点。进而,各相线圈的另一端与各相上下臂 15 ~ 17 的开关元件的中间点连接。

[0066] 电动发电机 MG 根据从变换器 14 供给的三相交流电力产生驱动力,经由机械联结的驱动轴 60 和差速齿轮 70 对驱动轮 80 进行旋转驱动。即,电动发电机 MG 构成为能够在该电动发电机和与驱动轮 80 联结的驱动轴 60 之间相互传递转矩。

[0067] 此外,在电动车辆 100 为还搭载有未图示的发动机的混合动力车辆的情况下,为了能够通过来自该未图示的发动机的输出使驱动轮 80 旋转驱动,也可以构成为在来自电动发电机 MG 的驱动力传递路径上安装使用了行星齿轮机构等的动力分配机构等,以适当地分配电动发电机 MG 和发动机产生的驱动力。

[0068] 电流传感器 24 检测在电动发电机 MG 流动的电流(相电流),并将该检测值向控制装置 30 输出。此外,由于三相电流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  的瞬时值之和为零,所以也可以如图 1 所示配置为检测 2 相的马达电流(例如,V 相电流  $I_v$  和 W 相电流  $I_w$ )。

[0069] 旋转角传感器(resolver:分解器)25 检测电动发电机 MG 的转子旋转角  $\theta$ ,并将该检测到的旋转角  $\theta$  向控制装置 30 输出。在控制装置 30 中,能够基于旋转角  $\theta$  计算出电动发电机 MG 的转速和旋转频率  $\omega_e$ 。此外,通过控制装置 30 根据马达电压和 / 或电流直接推算旋转角  $\theta$ ,可以省略配置旋转角传感器 25。

[0070] 控制装置 30 由单个或多个电子控制单元(ECU)构成。ECU 通过由未图示的 CPU (Central Processing Unit:中央处理器)执行预先存储的程序实现的软件处理和 / 或由专用的电子电路实现的硬件处理来执行预定的控制动作。

[0071] 在图 1 的结构例中,控制装置 30 构成为包括 MG-ECU35、电池 ECU40 和 HV-ECU50。但是,也能够设置将这些 ECU 的一部分或全部功能统一得到的 ECU。

[0072] 电池 ECU40 基于通过监视单元 10 所检测到的电池 B (蓄电装置)的状态值(输出电压  $V_b$ 、输出电流  $I_b$  和温度  $T_b$ )来推定电池 B (蓄电装置)当前的充电状态(SOC)。SOC 通常以百分率表示当前的充电量相对于满充电状态(100%)的比率。

[0073] 进而,电池 ECU40 为了控制电池 B 的充放电,至少基于 SOC 来设定电池 B 的充电电力上限值  $W_{in}$  和放电电力上限值  $W_{out}$ 。针对电池 B 的输入输出电力,也以正值表示放电电力,以负值表示充电电力。因此, $W_{in} \leq 0, W_{out} \geq 0$ 。电池 ECU40 对应于“充放电监视部”。

[0074] HV-ECU50 基于加速踏板 51 的操作量 AC、制动踏板 55 的操作量 BK 和来自未图示

的传感器的表示车辆状况的信息,控制电动车辆 100 的行驶。例如, HV-ECU50 控制电动车辆 100 的行驶,以根据用户的加速操作(AC)和制动操作(BK)实现用户所希望的加速度或者减速度。HV-ECU50 对应于“车辆控制部”。

[0075] 作为该行驶控制的一部分,设定车辆行驶用的电动发电机 MG 的转矩指令值  $Trqcom$ 。在电动车辆 100 加速时,电动发电机 MG 的转矩指令值被设定为正( $Trqcom > 0$ )。

[0076] 在操作制动踏板 55 时, HV-ECU50 基于制动操作量 BK 和通过未图示的车速传感器检测到的车速,计算车辆整体所需的总制动力,并进行将该总制动力分配为通过液压制动器(未图示)产生的液压制动力和通过电动发电机 MG 产生的再生制动力的协调控制。此时,用于使电动发电机 MG 产生再生制动力的转矩指令值( $Trqcom < 0$ ),以使通过电动发电机 MG 输出与转矩指令值相当的减速转矩而产生的发电电力被控制在充电电力上限值  $Win$  的范围内。此外,即使在由电动发电机 MG 产生的再生制动力被限制的情况下,通过确保由液压制动器产生的制动力,总制动力也能够始终得以确保。

[0077] 另外,在将内燃机作为驱动源的以往的车辆中,在加速踏板释放时,自动产生与所谓发动机制动相当的减速度。因此,在加速踏板 51 释放时, HV-ECU50 为了确保与上述发动机制动相当的预定的减速度,将转矩指令值  $Trqcom$  设定为预定值(负值)。

[0078] 但是,始终,转矩指令值  $Trqcom$  以使电动发电机输出该转矩时的消耗电力或与发电电力相伴的电池 B 的充放电电力变为  $Win \sim Wout$  的范围内的方式被限制之后被设定。

[0079] MG-ECU35 根据由 HV-ECU50 产生的转矩指令值  $Trqcom$  来控制变换器 14 和转换器 12,以使电动发电机 MG 工作。向 MG-ECU35 输入转矩指令值  $Trqcom$ 、由电压传感器 11 所检测到的直流电压  $V_L$ 、由电压传感器 13 所检测到的系统电压  $V_H$ 、由电流传感器 24 所检测到的马达电流  $I_v$ 、 $I_w$  和来自旋转角传感器 25 的旋转角  $\theta$ 。MG-ECU35 基于这些输入信号生成用于控制转换器 12 的直流电压变换的开关控制信号  $SG1$ 、 $SG2$  和用于控制变换器 14 的直流/交流电压变换的开关控制信号  $SG3 \sim SG8$ 。即, MG-ECU35 对应于“马达控制部”。

[0080] 在电动车辆 100 加速时,生成开关控制信号  $SG3 \sim SG8$ ,以使变换器 14 根据正的转矩指令值( $Trqcom > 0$ )被控制。由此,从变换器 14 向电动发电机 MG 施加用于产生旋转磁场的交流电压,该旋转磁场用于在电动发电机 MG 的定子产生正转矩。由此,电动发电机 MG 能够以来自电池 B 的电力线 7 的直流电力为源,产生用于使电动车辆 100 加速的驱动力。

[0081] 电动发电机 MG,在电动车辆 100 减速时,通过驱动轮 80 的旋转力被驱动来作为发电机进行工作。此外,这里说的“减速时”,除了包括操作了制动踏板 55 的情况下的伴随再生发电的制动时之外,还包括尽管没有操作制动踏板 55 但由于释放加速踏板 51 而产生的加速中止时。

[0082] 基本上,在电动车辆 100 减速时,电动发电机 MG 的转矩指令值  $Trqcom$  被设定为负( $Trqcom < 0$ )。并且,变换器 14 将通过负转矩的输出而使电动发电机 MG 发电所产生的电力变换为直流电力并向电力线 7 输出。该再生的直流电力经由平滑电容器 C0 和转换器 12 对电池 B 充电。

[0083] 另外,在转矩指令值设定成  $Trqcom=0$  的情况下,生成开关控制信号  $SG3 \sim SG8$ ,以从变换器 14 输出用于在定子产生旋转磁场的交流电压,该旋转磁场使电动发电机 MG 的输出转矩为零。

[0084] 如上所述,当可能导致电池 B 过充电的 SOC 上升时,限制或者禁止对电池 B 充电。

此时,充电电力上限值  $Win$ (设定为  $Win < 0$ )的绝对值下降。并且,充电禁止时成为  $Win=0$ 。在限制或者禁止电池 B 充电的情况下,在加速踏板 51 释放时(以下,也简称为“加速踏板释放时”),为了防止电池 B 的过充电,需要抑制由电动发电机 MG 产生的再生电力。

[0085] 图 2 示出了用于防止电动车辆 100 的加速踏板释放时电池过充电的转矩指令值的设定方式的一例。在图 2 中,设想长距离持续下坡行驶。

[0086] 参照图 2,转矩值  $-Trb$  与用于确保相当于发动机制动器的减速度的减速转矩相对应。此外,针对该减速转矩  $-Trb$ ,不限于恒定值,也可以根据车辆状况(车速和/或路面倾斜度等)设定为可变的值。

[0087] 在时刻  $t1$  之前的期间示出了:由于充电电力上限值  $|Win|$  比产生减速转矩  $-Trb$  时电动发电机 MG 的发电电力大,所以处于能够设定为转矩指令值  $Trqcom=-Trb$  的状态。在该期间,通过与减速转矩的产生相伴的来自电动发电机 MG 的再生电力, SOC 缓慢上升。

[0088] 然后,在时刻  $t1$ ,根据 SOC 的上升,充电电力上限值  $|Win|$  被抑制,由此能够设定的转矩指令值成为  $Trqcom > -Trb$ ,限制了减速转矩的产生。即,成为加速踏板释放时向电池 B 充电被限制的状态。

[0089] 在时刻  $t1$  以后,以在充电电力上限值  $|Win|$  的范围内的方式来限制并设定转矩指令值  $Trqcom$ ,因此由电动发电机 MG 产生的减速转矩减少,而 SOC 的上升程度变缓。

[0090] 然后,由于所限制的减速转矩的产生进一步继续,因此在时刻  $t2$ , SOC 上升到禁止电池 B 充电的控制上限值  $Smax$  为止。由此,充电电力上限值被设定为  $Win=0$ 。在该情况下,由于通过电动发电机 MG 进行的再生发电被禁止,因此转矩指令值被设定为  $Trqcom=0$ 。

[0091] 如上所述,在转矩指令值  $Trqcom=0$  的状态下,控制变换器 14,以产生使电动发电机 MG 的输出转矩为零这样的旋转磁场。然而,当因旋转角传感器 25 的误差等的影响而产生来自电动发电机 MG 的不期望的再生电力时,如图 2 点线所示, SOC 在时刻  $t2$  以后也上升,从而有可能使电池 B 过充电。

[0092] 另外,在电池 B 的充电被限制或者禁止的情况下,如专利文献 1 所记载的那样,通过主动使 d 轴电流流动,也能够抑制来自电动发电机的再生电力或实现 SOC 的降低。然而,即使在该情况下,也有可能因旋转角传感器 25 的误差等导致的控制误差而执行不期望的再生发电。

[0093] 因此,在本实施方式的电动车辆 100 中,执行以下如说明那样的加速踏板释放时的减速控制。

[0094] 图 3 是用于说明本发明的实施方式的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制的框图。

[0095] 此外,以图 3 开始的各框图所示的各功能框,可以通过在 ECU 内构成具有相当于该框功能的电子电路(硬件)来实现,也可以通过 ECU 按照预先设定的程序执行软件处理来实现。

[0096] 参照图 3, SOC 推定部 42 基于通过监视单元 10 所检测到的电池 B(蓄电装置)的状态值(电压、电流、温度等),推定电池 B 的 SOC。简略地说,已知一种基于电池电流  $Ib$  的累计值和/或开路电压等来推定 SOC 的方法。

[0097] 充放电限制设定部 44 根据通过 SOC 推定部 42 所推定出的 SOC 来设定充电电力上

限值  $W_{in}$  和放电电力上限值  $W_{out}$ 。此外,也可以考虑电池温度  $T_b$  来设定  $W_{in}$ 、 $W_{out}$ ,以在使电池 B 的内部电阻上升的低温或者高温时,比通常温度时更加限制充放电。

[0098] SOC 推定部 42 和充放电限制设定部 44,在图 1 的结构中,相当于通过电池 ECU40 实现的功能框。

[0099] 转矩指令值设定部 54 根据加速操作量 AC、制动操作量 BK 和电动车辆 100 的车辆状况来设定转矩指令值  $Trq_{com}$ ,以实现用户所希望的加速度或减速度。但是,如上所述,转矩指令值  $Trq_{com}$  被设定成使电动发电机 MG 输出与  $Trq_{com}$  相当的转矩时的发电电力或消耗电力在  $W_{in} \sim W_{out}$  的范围内。

[0100] 判定部 52 接收加速操作量 AC、电动车辆 100 的车速(或者电动发电机 MG 的转速)和充电电力上限值  $W_{in}$ 。并且,判定部 52 在加速踏板释放时,推定为了得到相当于发动机制动器的预定减速度所需的减速转矩  $-Tr_b$  以及通过由电动发电机 MG 输出该减速转矩  $-Tr_b$  而产生的再生发电电力  $W_{rb\#}$ 。

[0101] 进而,判定部 52 对所推定的再生发电电力  $W_{rb\#}$  和充电电力上限值  $W_{in}$  进行比较。并且,在再生发电电力  $W_{rb\#}$  处于充电电力上限值  $W_{in}$  的范围内(即,  $|W_{rb\#}| \leq |W_{in}|$ ) 时,使判定标记 SOF 无效(OFF),另一方面,当再生发电电力  $W_{rb\#}$  超过充电电力上限值  $W_{in}$  时(即,  $|W_{rb\#}| > |W_{in}|$ ),使判定标记 SOF 有效(ON)。

[0102] 这样,在加速踏板释放时,判定部 52 根据电池 B 的充电状态来设定判定标记 SOF。判定标记 SOF 表示:是否发生了通过限制/禁止电池 B 的充放电,在当前的充电电力上限值  $W_{in}$  的范围内,在加速踏板释放时无法确保预定的减速度(相当于发动机制动器)的状态。此外,判定标记 SOF 也可以进一步反映于转矩指令值设定部 54 中的转矩指令值  $Trq_{com}$  的设定。

[0103] 判定部 52 和转矩指令值设定部 54 在图 1 的结构中相当于通过 HV-ECU50 实现的功能框。

[0104] 如图 4 所示,在判定标记 SOF 有效时,控制变换器 14 以在电动发电机 MG 的各相交流电流上叠加直流电流。

[0105] 参照图 4,电动发电机 MG 的各相电流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  根据变换器 14 输出的交流电压而产生。变换器 14 控制输出电压的相位和/或振幅,以使电动发电机 MG 的输出转矩与转矩指令值  $Trq_{com}$  一致。此时,通常,根据通常的电动机控制,对变换器 14 进行控制,以对于电动发电机 MG 的各相电流尽量不发生偏置。

[0106] 与此相对,在本实施方式的电动车辆 100 中,在判定标记 SOF 有效时,通过在电动发电机 MG 的各相电流上叠加直流成分,在各相电流有意地产生偏置电流  $I_f$ 。此外,偏置电流  $I_f$  可以是正和负中的任一方。

[0107] 若产生这样的偏置,则在电动发电机 MG 的定子产生依存于偏置电流  $I_f$  的非旋转磁场。该非旋转磁场作为恒定的减速转矩对转子旋转力起作用。以下,将通过相关的偏置电流产生的减速转矩也称为“拖拽转矩”。另外,由于偏置电流  $I_f$  的产生与转子涡电流的增加相关联,所以由于该拖拽转矩的产生,电动发电机 MG 的发电量没有增加。

[0108] 这样,在本实施方式的电动车辆 100 中,当在加速踏板释放时使判定标记 SOF 有效时,在电动发电机 MG 的各相电流上叠加直流电流,从而能够在电动发电机 MG 产生拖拽转矩。

[0109] 图 5 示出了本实施方式的电动车辆的电动发电机的控制结构。图 5 中,作为代表性的控制结构示出了脉冲宽度调制(PWM)控制的结构。

[0110] 参照图 5, MG-ECU35 包括用于控制电动发电机 MG 的输出转矩的 PWM 控制部 200。

[0111] PWM 控制部 200 包括电流指令生成部 210、坐标变换部 220、250、电压指令生成部 240、加法运算部 251 ~ 253、PWM 调制部 280 和载波控制部 270。

[0112] 电流指令生成部 210, 按照预先作成的表等, 根据电动发电机 MG 的转矩指令值  $Trqcom$ , 生成 d 轴电流指令值  $Idcom$  和 q 轴电流指令值  $Iqcom$ 。

[0113] 坐标变换部 220 通过对电流传感器 24 的检测值进行采样, 取得各相的马达电流。进而, 坐标变换部 220 通过使用由旋转角传感器 25 检测到的旋转角  $\theta$  对所取得的三相电流 ( $Iu$ 、 $Iv$ 、 $Iw$ ) 进行坐标变换(3 相 $\rightarrow$ 2 相), 计算出 d 轴电流  $Id$  和 q 轴电流  $Iq$ 。

[0114] 向电压指令生成部 240 输入 d 轴电流相对于指令值的偏差  $\Delta Id$  ( $\Delta Id = Idcom - Id$ ) 和 q 轴电流相对于指令值的偏差  $\Delta Iq$  ( $\Delta Iq = Iqcom - Iq$ )。电压指令生成部 240 针对 d 轴电流偏差  $\Delta Id$  和 q 轴电流偏差  $\Delta Iq$  分别进行预定增益的 PI (比例积分) 运算求出控制偏差, 生成与该控制偏差相应的 d 轴电压指令值  $Vd\#$  和 q 轴电压指令值  $Vq\#$ 。

[0115] 坐标变换部 250 通过使用了电动发电机 MG 的旋转角  $\theta$  的坐标变换(2 相 $\rightarrow$ 3 相), 将 d 轴电压指令值  $Vd\#$  和 q 轴电压指令值  $Vq\#$  变换为 U 相、V 相、W 相的各相电压指令。该阶段的各相电压指令以不包含偏置的正弦波电压进行提供。这样, 通过电流指令生成部 210、坐标变换部 220、250 和电压指令生成部 240 构成“控制指令生成部”。

[0116] 直流偏置生成部 260, 在通过判定部 52(图 3)使判定标记 SOF 有效时, 将偏置电压  $Vf$  设定为预定值 ( $|Vf| > 0$ )。另一方面, 在判定标记 SOF 无效时, 直流偏置生成部 260 将偏置电压设定为  $Vf = 0$ 。

[0117] 加法运算部 251 ~ 253 将通过坐标变换部 250 变换得到的各相电压指令与通过直流偏置生成部 260 设定得到的偏置电压  $Vf$  相加。根据加法运算部 251 ~ 253 的加法运算结果来设定各相电压指令  $Vu$ 、 $Vv$ 、 $Vw$ 。

[0118] 这样一来, 通过在各相的电压指令  $Vu$ 、 $Vv$ 、 $Vw$  上叠加偏置成分 ( $Vf$ ), 能够在电动发电机 MG 的各相电流产生偏置电流  $If$  (图 4)。

[0119] 载波控制部 270 设定载波频率  $fc$ 。例如, 载波频率  $fc$  被设定为电磁噪声难以被用户检测到且变换器 14 中的开关损耗不明显这样的预定频率。

[0120] PWM 调制部 280 根据具有通过载波控制部 270 设定的载波频率  $fc$  的载波和来自坐标变换部 250 的各相电压指令  $Vu$ 、 $Vv$ 、 $Vw$  的电压比较, 生成变换器 14 的开关控制信号  $SG3 \sim SG8$ 。载波一般使用三角波和锯齿波。

[0121] 根据开关控制信号  $SG3 \sim SG8$  来控制变换器 14 的各相上下臂元件的接通断开, 从而在电动发电机 MG 的各相上施加由脉冲宽度被调制过的脉冲电压的集合构成的准正弦波电压。

[0122] 此外, PWM 调制中的载波的振幅相当于变换器 14 的直流侧电压(系统电压  $VH$ )。对于各相电压指令  $Vu$ 、 $Vv$ 、 $Vw$  的振幅, 若变换为将基于  $Vd\#$ 、 $Vq\#$  的本来的振幅值除以系统电压  $VH$  得到的值, 则能够固定在 PWM 调制部 280 中使用的载波的振幅。

[0123] 采用这样的控制结构, 能够通过马达电流的反馈控制, 按照转矩指令值  $Trqcom$  控制电动发电机 MG 的输出转矩, 并在判定标记 SOF 有效时, 在电动发电机 MG 的各相电流上产

生用于使拖拽转矩产生的偏置电流。另一方面,在判定标记 S0F 无效时,控制电动发电机 MG 以不产生偏置电流。

[0124] 图 6 示出了本发明的实施方式的电动车辆中的加速踏板释放时的减速控制的控制处理步骤。以图 6 开始的以下的流程图的各步骤,基本上通过控制装置 30 (ECU)的软件处理来实现,但是也可以通过在 ECU 内制作的电子电路的硬件处理来实现。

[0125] 参照图 6,控制装置 30 在步骤 S100 中,基于加速操作量 AC,判定加速踏板 51 是否被释放。在加速踏板 51 踏下时,跳过之后用于控制加速踏板释放时的减速度的步骤 S110 ~ S130。

[0126] 控制装置 30 在加速踏板释放时(在 S100 中判定为“是”时),通过步骤 S110,设定为了确保预定的减速度(相当于发动机制动器)所需的减速转矩  $-Trb$ 。进而,在步骤 S110 中,计算电动发电机 MG 产生该减速转矩  $-Trb$  时的再生发电电力  $Wrb\#$  ( $Wrb\# < 0$ )。

[0127] 然后,控制装置 30 通过步骤 S120,比较步骤 S110 中计算出的再生发电电力  $Wrb\#$  和基于当前 SOC 的充电电力上限值  $Win$ 。然后,控制装置 30 在再生发电电力  $Wrb\#$  超过充电电力上限值  $Win$  时( $|Wrb\#| > |Win|$ ),即在为确保加速踏板释放时的减速转矩而限制/禁止电池 B 的充电的情况下(在 S120 中判定为“是”时),将处理推进至步骤 S130。控制装置 30 在步骤 S130 中,为了使直流电流成分的叠加执行,使判定标记 S0F 有效。

[0128] 另一方面,在再生发电电力  $Wrb\#$  在充电电力上限值  $Win$  的范围内时( $|Wrb\#| \leq |Win|$ ) (在 S120 中判定为“否”时),控制装置 30 将处理推进至步骤 S140,为了使直流电流成分的叠加不执行,使判定标记 S0F 无效。

[0129] 其结果,在判定标记 S0F 有效时,如图 4 所示那样叠加有偏置电流  $I_f$  的交流电流在电动发电机 MG 的各相中流动。另一方面,在电池 B 的充电电力上限值  $Win$  有充裕时(判定标记 S0F 无效时),控制变换器 14,以使没有偏置成分的( $I_f = 0$ )交流电流在电动发电机 MG 的各相中流动。

[0130] 此外,关于步骤 S120 中的使直流电流的叠加是否执行的判定,也可以仅单纯基于 SOC 来判定。或者,也可以仅限于在向电池 B 的充电被禁止时( $Win=0$  或者  $Trqcom=0$ )使直流电流成分的叠加执行。

[0131] 这样,根据本发明的实施方式 1 的电动车辆及其控制方法,在加速踏板释放时,根据电池 B 的充电状态,在各相电流上叠加直流电流,从而能够在电动发电机 MG 产生拖拽转矩。由此,即使在为确保加速踏板释放时的减速转矩而限制/禁止了电池 B 的充电的情况下,也能够通过拖拽转矩的产生,不产生电动发电机 MG 中的电力消耗,能够确保电动车辆 100 的减速度。即,能够一边防止电池 B (蓄电装置)的过充电,一边适当地控制电动发电机 MG,以在加速踏板释放时自动地确保减速度。

[0132] 特别是,与专利文献 1 因产生 d 轴电流而使电动发电机 MG 发生铜损的情况相比较,本发明的有利之处在于,能够不依赖于旋转角传感器 25 的检测精度而切实地产生电力消耗。另外,由于电动发电机 MG 的线圈绕线电阻小,所以在增大由铜损导致的电力消耗方面存在极限,但是通过有意地产生偏置电流来产生拖拽转矩,能够更有效地在抑制再生电力的同时产生减速转矩。

[0133] [实施方式 2]

[0134] 在实施方式 2 中,对在实施方式 1 所示的电动车辆中用于产生拖拽转矩的偏置电



流  $I_f$  (图 4) 的优选的设定进行说明。即, 机动车辆 100 的结构和基本的控制与实施方式 1 同样, 所以不反复说明与实施方式 1 共同的部分。

[0135] 在图 7 中, 与图 2 同样, 也设想长距离持续下坡行驶。参照图 7, 如图 2 中说明的那样, 在时刻  $t_1$ , 用于产生确保预定减速度的减速转矩  $-Trb$  的再生发电电力  $Wrb\#$  超过充电电力上限值  $Win$ 。即, 为了确保加速踏板释放时的减速转矩而限制电池 B 的充电。

[0136] 因此, 在时刻  $t_1$  以后, 转矩指令值  $Trqcom$  被限制而设定成  $-Trb < Trqcom < 0$ 。其结果, 产生用于确保预定减速度的与减速转矩  $-Trb$  相对的不足转矩  $\Delta Tb$ 。

[0137] 图 8 是说明本发明的实施方式 2 的机动车辆的加速踏板释放时的减速控制中的偏置电流的设定的图。

[0138] 参照图 8, 在时刻  $t_1$  以前, 能够设定为  $Trqcom = -Trb$ , 因此不足转矩  $\Delta Tb = 0$ 。因此, 不产生偏置电流 ( $I_f = 0$ ), 控制电动发电机 MG 的转矩。

[0139] 从时刻  $t_1$  开始, 根据为了确保加速踏板释放时的减速转矩而限制电池 B 的充电所产生的与减速转矩  $-Trb$  相对的不足转矩  $\Delta Tb$ , 设定偏置电流  $I_f$ 。因此, 如图 7 所示, 在时刻  $t_1$  以后, 与不足转矩  $\Delta Tb$  增大相应地, 偏置电流  $I_f$  也设定得增大。

[0140] 这样一来, 在开始限制电池 B 充电的时刻  $t_1$  前后, 能够同程度地确保电动发电机 MG 的减速转矩。由此, 能够确保加速踏板释放时的减速度, 因此机动车辆 100 的运行性提高。

[0141] 然后, 通过禁止电池 B 的充电 ( $Win = 0$ ), 在转矩指令值成为  $Trqcom = 0$  的时刻  $t_2$  以后, 偏置电流被设定成  $I_f = I1$ 。

[0142] 优选在偏置电流  $I_f = I1$  时产生的拖拽转矩相当于预定的减速转矩  $-Trb$ 。但是, 如后述那样, 由于通过产生偏置电流也导致存在电动发电机 MG 工作上的缺点, 所以能够对电流  $I1$  的大小进行适当设计。

[0143] 此外, 在通过活用拖拽转矩所确保的减速度相对所谓的发动机制动器而不足的情况下, 通过响应用户的制动操作使液压制动器工作, 从而能够切实地确保机动车辆 100 的减速度本身, 关于这一点进行确认性地记载。

[0144] 图 9 示出了本发明的实施方式 2 的机动车辆的加速踏板释放时的减速控制的控制结构。

[0145] 参照图 9, 判定部 52, 与图 3 所示同样地控制判定标记 SOF 的有效无效。然后, 偏置量设定部 56 接收转矩指令值  $Trqcom$ 、用于确保预定减速度的减速转矩  $-Trb$  和判定标记 SOF。如上所述, 通过转矩指令值设定部 54 以在充电电力上限值  $Win$  的范围内的方式来设定转矩指令值  $Trqcom$ 。

[0146] 偏置量设定部 56, 在判定标记 SOF 有效时, 根据转矩指令值  $Trqcom$  相对减速转矩  $-Trb$  的不足转矩  $\Delta Tb$ , 生成偏置电流  $I_f$  的指令值  $I_fcom$  ( $|I_fcom| > 0$ )。另一方面, 偏置量设定部 56, 在判定标记 SOF 无效时, 设定为  $I_fcom = 0$ 。

[0147] 偏置电流指令值  $I_fcom$  与判定标记 SOF 一起被输入至直流偏置生成部 260。

[0148] 直流偏置生成部 260 在判定标记 SOF 有效时, 根据偏置电流指令值  $I_fcom$  来设定偏置电压  $V_f$ 。另一方面, 在判定标记 SOF 无效时, 如已经说明的那样, 根据偏置电流指令值  $I_fcom = 0$  设定为  $V_f = 0$ 。

[0149] 图 10 示出了添加了如图 7 ~ 图 9 所示的偏置电流的可变设定的、实施方式 2 的电

动车辆的加速踏板释放时的减速控制的控制处理步骤。

[0150] 参照图 10, 控制装置 30 在加速踏板 51 被释放时(在 S100 中判定为“否”时), 实施与图 6 同样的步骤 S110 ~ S140。

[0151] 然后, 控制装置 30, 以在充电电力上限值  $W_{in}$  的范围内的方式能够产生所需的减速转矩  $-Trb$  时(在 S120 中判定为“否”时), 除了步骤 S140, 还通过步骤 S145 根据所需的减速度设定转矩指令值  $Trqcom$ 。即设定为  $Trqcom = -Trb$ 。

[0152] 另一方面, 在步骤 S120 中判定为“是”时, 即在为了确保加速踏板释放时的减速转矩而限制 / 禁止电池 B 的充电的情况下, 若将在步骤 S110 计算出的减速转矩  $-Trb$  直接设定为转矩指令值  $Trqcom$ , 则再生发电电力会超过充电电力上限值  $W_{in}$ 。

[0153] 因此, 控制装置 30 为了使直流电流成分的叠加执行而使判定标记 SOF 有效(步骤 S130), 并将处理推进至步骤 S150, 判定是否为  $W_{in} = 0$ , 即是否处于禁止向电池 B 充电的状态。

[0154] 控制装置 30 在  $W_{in} = 0$  时(在 S150 中判定为“是”时), 通过步骤 S155, 设定为转矩指令值  $Trqcom = 0$ , 以不产生再生发电电力。进而, 将在电动发电机 MG 的各相电流上叠加的偏置电流  $I_f$  设定为  $I_1$ 。

[0155] 由此, 通过将输出转矩控制为零并通过偏置电流产生电力消耗, 能够更加切实地避免从电动发电机 MG 产生再生电力, 因此能够更加切实地防止电池 B 的过充电。另外, 通过电动发电机 MG 产生拖拽转矩, 也能够确保电动车辆 100 的减速度。

[0156] 另一方面, 当  $W_{in} < 0$  时(在 S150 中判定为“否”时), 控制装置 30 将处理推进至步骤 S160, 通过根据转矩控制的减速转矩与由直流电流的叠加所产生的拖拽转矩的合计, 对转矩分配进行控制以确保所需的减速转矩  $-Trb$ 。具体地说, 以在充电电力上限值  $W_{in}$  的范围内的方式设定转矩指令值  $Trqcom (-Trb < Trqcom < 0)$ , 并根据相对减速转矩  $-Trb$  的不足转矩  $\Delta Trb$  来设定偏置电流  $I_f$ 。

[0157] 这样, 在实施方式 2 的电动车辆中, 在加速踏板释放时, 在为了确保相当于发动机制动器的减速转矩而限制电池 B 的充电的情况下, 通过由通常的转矩控制产生的减速转矩与由偏置电流的产生而产生的拖拽转矩之和, 控制电动发电机 MG, 以确保加速踏板释放时的预定减速度。由此, 即使在限制蓄电装置(battery) B 的充电时, 也能够加速踏板释放时确保预定的减速度, 从而能够提高电动车辆 100 的运行性。

[0158] 进而, 在禁止电池 B 的充电时, 能够将转矩指令值设定为  $Trqcom = 0$ , 并伴随拖拽转矩的产生而产生电动发电机 MG 的消耗电力, 因此能够切实地防止电池 B 的过充电。此外, 从使防止过充电优选的观点出发, 也可以限定于仅在禁止电池 B 的充电时, 通过产生偏置电流来产生拖拽转矩。

[0159] [实施方式 3]

[0160] 在实施方式 1 和实施方式 2 中, 已经说明了在电动车辆 100 的加速踏板释放时, 根据电池 B 的充电状态, 使电动发电机 MG 的拖拽转矩有意地产生的减速控制。

[0161] 但是, 通过产生用于产生拖拽转矩的偏置电流, 在电动发电机 MG 中, 由于铁损的上升使磁体温度上升, 有可能发生退磁。因此, 在实施方式 3 中, 针对实施方式 1、2 所示的加速踏板释放时的减速控制, 说明用于提高电动发电机 MG 的保护性能的控制结构。

[0162] 即, 在实施方式 3 中, 电动车辆 100 的结构和基本的控制结构也与实施方式 1、2 同

样。因此,在实施方式 3 中,确认性地记载了仅说明与实施方式 1、2 的不同之处,关于没有特别说明之处是与实施方式 1 和 2 同样的结构。

[0163] 图 11 是说明本发明的实施方式 3 的电动车辆中的载波控制部 270 的功能的框图。

[0164] 参照图 11,在实施方式 3 的电动车辆中,图 5 所示的载波控制部 270 不是将载波频率  $f_c$  设为固定频率,而是根据判定标记 SOF 使载波频率  $f_c$  变化。

[0165] 图 12 是用于说明通过图 11 所示的载波控制部 270 进行的控制的流程图。

[0166] 参照图 12,载波控制部 270 通过步骤 S200,基于判定标记 SOF 来判定通过直流电流的叠加来产生偏置电流是否被执行。然后,在没有叠加直流电流时(在步骤 S200 中判定为“否”时),通过步骤 S210 将载波频率  $f_c$  设定为通常值  $f_1$ 。

[0167] 如上所述,若使载波频率  $f_c$  高频化则有可能导致开关损耗增大,另一方面,若使载波频率  $f_c$  低频化则有可能产生电磁噪声。因此,在考虑了该二律背反的关系之后,通常值  $f_1$  被设定为稳定运转时的适当值。

[0168] 另一方面,在直流电流的叠加被执行时(在 S200 中判定为“是”时),载波控制部 270 通过步骤 S220 使载波频率  $f_c$  向  $f_2$  上升( $f_2 > f_1$ )。

[0169] 图 13 示出了与图 12 所示的搬送频率的控制相伴的电动发电机 MG 的各相电流的变化。

[0170] 参照图 13,在没有执行直流电流的叠加的情况下,根据通常的载波频率( $f_1$ )的 PWM 控制,对从变换器 14 向电动发电机 MG 的输出电压进行控制。此时,控制变换器 14 以不产生偏置电流,因此电动发电机 MG 的各相电流呈偏置电流  $I_f = 0$  的正负对称的波形。相电流的基本频率相当于电动发电机 MG 的旋转频率。相电流成为在该基本波成分上叠加了因变换器 14 的开关频率、即载波频率  $f_c = f_1$  而产生的脉动电流相当的高频成分之后的形状。

[0171] 与此相对,在执行了直流电流的叠加时,通过如图 5 所示的直流偏置生成部 260,将偏置电压  $V_f$  叠加在各相电压指令上。由此,在相电流产生偏置电流  $I_f$  ( $|I_f| = I_{fcom}$ ),该波形为正负非对称。进而,由于载波频率  $f_c$  上升至  $f_2$ ,因此在基本波成分上叠加的脉动电流(高频成分)的振幅减小。

[0172] 在此,已知在电动发电机 MG 中产生的铁损依赖于偏置成分和在基本波成分叠加的高频成分的脉动的大小这两方。因此,在偏置电流产生的叠加直流电流时,通过抑制高频成分的振幅,能够抑制铁损的上升、即电动发电机 MG 中的磁体温度上升。

[0173] 由此,与固定载波频率的情况相比较,能够防止在产生用于减速度控制的拖拽转矩时的电动发电机 MG 的温度上升(产生退磁)。

[0174] [实施方式 3 的变形例]

[0175] 在实施方式 3 的变形例中,根据使直流电流的叠加执行时的电动发电机 MG 的退磁的状态,可变地设定偏置电流的大小或者其叠加期间。

[0176] 参照图 14,在实施方式 3 的变形例的电动车辆中,还设置有退磁率推定部 58。退磁率推定部 58 基于电动发电机 MG 的状态值推定电动发电机 MG 的退磁率。偏置量设定部 56 基于退磁率推定部 58 的退磁率推定值  $D_{dm}$  来设定偏置电流的指令值  $I_{fcom}$ 。

[0177] 如实施方式 2 所说明的那样,基于通过偏置量设定部设定的指令值  $I_{fcom}$ ,控制由直流偏置生成部 260 (图 5) 生成的偏置电压  $V_f$  的大小,因此偏置电流  $I_f$  成为与指令值  $I_{fcom}$  相应的电流。

[0178] 在能够取得电动发电机 MG 的磁体温度的情况下,退磁率推定部 58 能够根据所取得的磁体温度计算出退磁率推定值  $D_{dm}$ 。一般地,由于难以测定安装于转子的永磁体的温度,所以基于电动发电机 MG 的状态值、冷却液的温度等来推定磁体温度。

[0179] 或者,退磁率推定部 58 也能够基于电动发电机 MG 的电压方程式,如下所示求出退磁率推定值  $D_{dm}$ 。

[0180] 使用 d-q 轴变换来控制永磁体马达(电动发电机 MG)时的 q 轴的电压方程式,已知如下述(1)式所示。

$$[0181] \quad V_q = \omega L_d I_d + R I_q + \omega \Phi \cdots (1)$$

[0182] 其中,  $\omega$ : 旋转角速度、 $\Phi$ : 永磁体的电枢交链磁通、 $L_d$ : q 轴的电感、 $R$ : 电枢电阻。

[0183] 因此,通过将由 PWM 控制部 200 进行反馈控制所设定的 q 轴电压指令值  $V_{q\#}$ 、当前的 d 轴电流  $I_d$  和 q 轴电流  $I_q$  以及当前的电动发电机 MG 的旋转角速度  $\omega$  代入式(1),能够计算出当前的电枢交链磁通的推定值  $\Phi_1$ 。

[0184] 然后,通过预先求出未发生退磁时(永磁体常温状态)的电枢交链磁通  $\Phi_m$ ,使用推定值  $\Phi_1$ ,能够通过下述(2)式求出退磁率推定值  $D_{dm}$ 。

$$[0185] \quad D_{dm} = (\Phi_m - \Phi_1) / \Phi_m \cdots (2)$$

[0186] 这样,退磁率推定部 58 能够基于在使用 d-q 轴变换来控制电动发电机 MG 的情况下的 q 轴电压指令值来推定运算退磁率。此外,在本实施方式中,并不特别限定退磁率推定值  $D_{dm}$  的计算方法。

[0187] 偏置量设定部 56 例如按照图 15 所示的特性,根据退磁率推定值  $D_{dm}$  来可变地设定偏置电流的指令值  $I_{fcom}$ 。

[0188] 参照图 15,偏置量设定部 56 以退磁率推定值  $D_{dm}$  越大就越减小偏置电流指令值  $|I_{fcom}|$  的方式产生拖拽转矩。由此,由于在退磁进行的情况下抑制偏置电流的电流,所以能够进一步防止退磁发展。

[0189] 另外,关于叠加偏置电流的期间,也能够根据退磁率推定值  $D_{dm}$  来可变地设定。

[0190] 参照图 16,从时刻  $t_1$  开始执行直流电流的叠加,将偏置电流的指令值  $I_{fcom}$  设定为  $|I_{fcom}| > 0$ 。此时,偏置电流的产生被限制在从叠加开始的时刻  $t_1$  到经过了叠加期间  $T_f$  的时刻  $t_3$  为止的期间。即,在时刻  $t_3$  以后,偏置量设定部 56 使偏置电流指令值恢复至  $I_{fcom} = 0$ ,因此,不产生偏置电流。

[0191] 偏置量设定部 56 根据例如图 17 所示的特性,根据退磁率推定值  $D_{dm}$  来可变地设定偏置电流的叠加期间  $T_f$ 。

[0192] 参照图 17,偏置量设定部 56 以退磁率推定值  $D_{dm}$  越大则叠加期间  $T_f$  就越短的方式来限制并产生拖拽转矩。由此,在退磁进行的情况下抑制偏置电流的产生期间,能够进一步防止退磁发展。

[0193] 图 18 示出了用于说明本发明的实施方式 3 的变形例的电动车辆的加速踏板释放时的减速控制的控制处理步骤的流程图。

[0194] 参照图 18,控制装置 30 通过步骤 S250,基于判定标记 SOF 来判定通过直流电流的叠加而产生偏置电流是否被执行。然后,控制装置 30 在叠加了直流电流时(在 S250 中判定为“是”时),通过步骤 S260 计算出电动发电机 MG 的退磁率推定值  $D_{dm}$ 。

[0195] 控制装置 30 通过步骤 S270,根据退磁率推定值  $D_{dm}$  来可变地设定偏置电流的量和

/或其叠加期间。即,偏置电流指令值  $I_{fcom}$  和 / 或叠加期间  $T_f$  是根据图 15 和 / 或图 17 所示的特性而设定的。

[0196] 如以上说明的那样,通过将实施方式 1、2 的加速踏板释放时的减速控制与实施方式 3 及其变形例组合,在通过偏置电流产生拖拽转矩时可变地设定偏置电流的量和 / 或叠加期间,从而能够防止电动发电机 MG 的退磁。

[0197] 此外,在本实施方式中,作为电动发电机 MG 例示了三相电动机,但是对于三相以外的交流电动机也能够全部适用本发明的减速控制。

[0198] 另外,在图 1 中,作为优选的结构例,示出了直流电源部 10# 包括转换器 12 以能够对向变换器 14 输入的电压(系统电压  $V_H$ ) 进行可变控制的结构,但是直流电源部 10# 并不限于本实施方式所例示的结构。即,变换器的输入电压可变并不是必须的,对于使蓄电装置 B 的输出电压直接输入至变换器 14 的结构(例如,省略了转换器 12 的配置的结构)也能够适用本发明。

[0199] 应该认为,本次所公开的实施方式在所有的方面都是例示而不是限制性的内容。本发明的范围不是由上述的说明而是由权利要求表示,包括与权利要求等同的意思以及范围内的所有的变更。

[0200] 产业上的可利用性

[0201] 本发明能够适用于搭载有电动发电机作为车辆行驶用马达的电动车辆,所述电动发电机构成为能够在该电动发电机和与驱动轮联结的驱动轴之间相互传递动力。

[0202] 标号说明

[0203] 5 接地线,6、7 电力线,10 监视单元,10# 直流电源部,11、13 电压传感器,12 转换器,14 变换器,15 ~ 17 各相上下臂,24 电流传感器,25 旋转角传感器,30 控制装置,35MG-ECU,40 电池 ECU,42SOC 推定部,44 充放电限制设定部,50HV-ECU,51 加速踏板,52 判定部,54 转矩指令值设定部,55 制动踏板,56 偏置量设定部,58 退磁率推定部,60 驱动轴,70 差速齿轮,80 驱动轮,100 电动车辆,200 控制部,210 电流指令生成部,220、250 坐标变换部,240 电压指令生成部,251 ~ 253 加法运算部,260 直流偏置生成部,270 载波控制部,280 调制部,AC 加速操作量, B 电池(蓄电装置), BK 制动操作量, C0、C1 平滑电容器, D1 ~ D8 逆并联二极管, Ddm 退磁率推定值,  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  马达电流(相电流),  $I_b$  输出电流(蓄电装置),  $I_d$  d 轴电流,  $I_{dcom}$  d 轴电流指令值,  $I_f$  偏置电流,  $I_{fcom}$  偏置电流指令值,  $I_q$  q 轴电流,  $I_{qcom}$  q 轴电流指令值, L1 电抗器, MG 电动发电机, Q1 ~ Q8 电力用半导体开关元件, SE 控制信号, SG1 ~ SG8 开关控制信号, SOF 判定标记(直流电流叠加执行非执行), SR1、SR2 系统继电器,  $S_{max}$  控制上限值,  $T_b$  温度(蓄电装置),  $T_f$  偏置电流叠加期间,  $Trqcom$  转矩指令值,  $V_H$  直流电压(系统电压),  $V_L$  直流电压,  $V_{Hr}$  电压指令值,  $V_b$  输出电压,  $V_f$  偏置电压,  $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$  各相电压指令,  $W_{in}$  充电电力上限值,  $W_{out}$  放电电力上限值,  $W_{rb\#}$  再生发电电力,  $f_c$  载波频率。

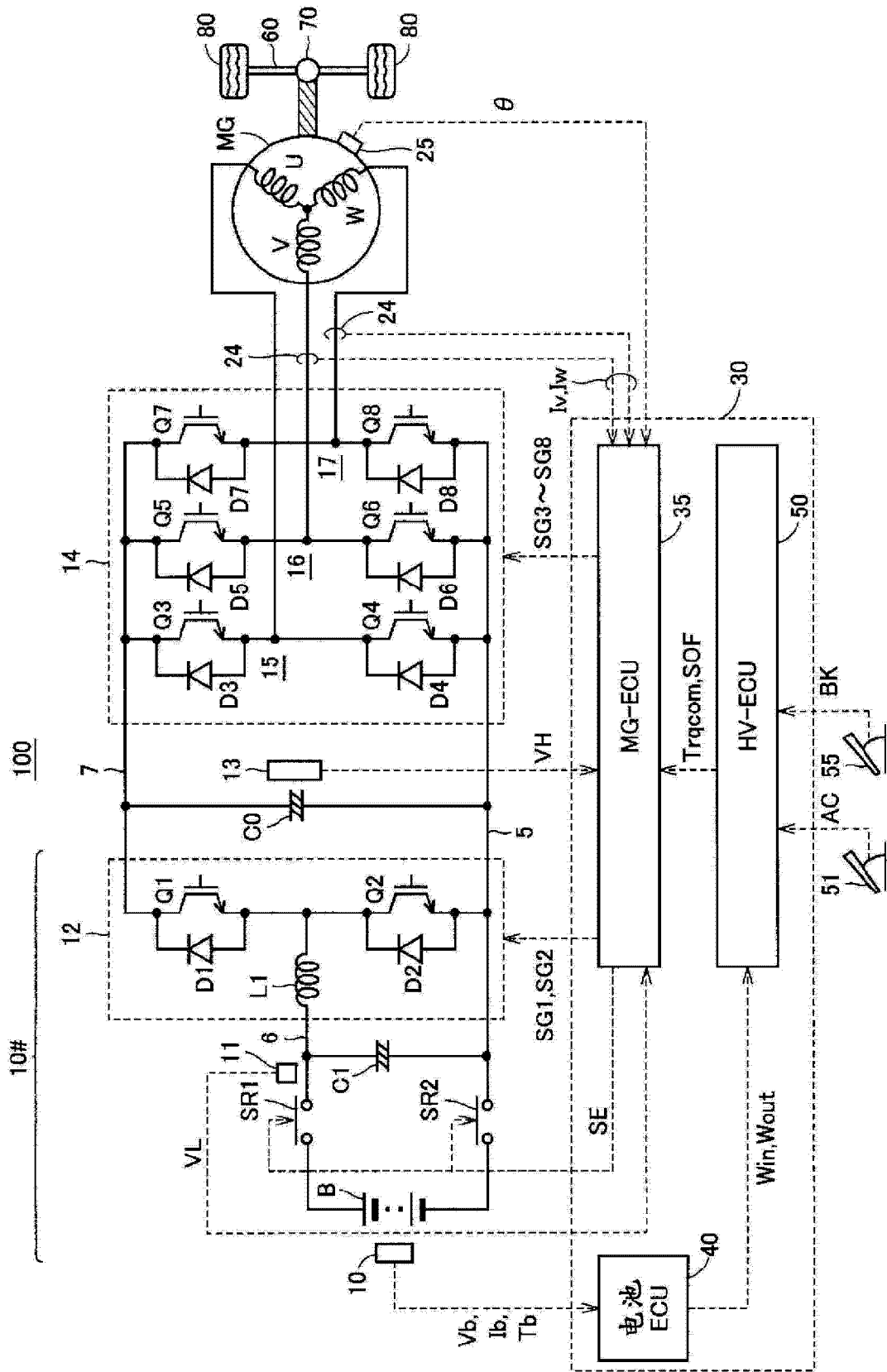


图 1

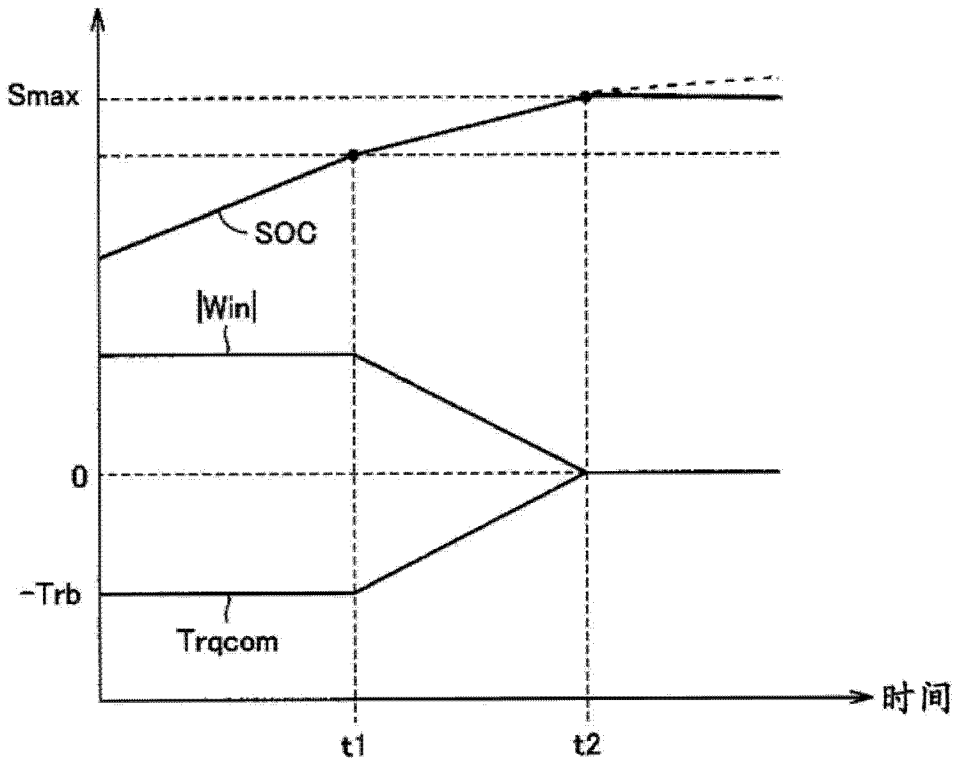


图 2

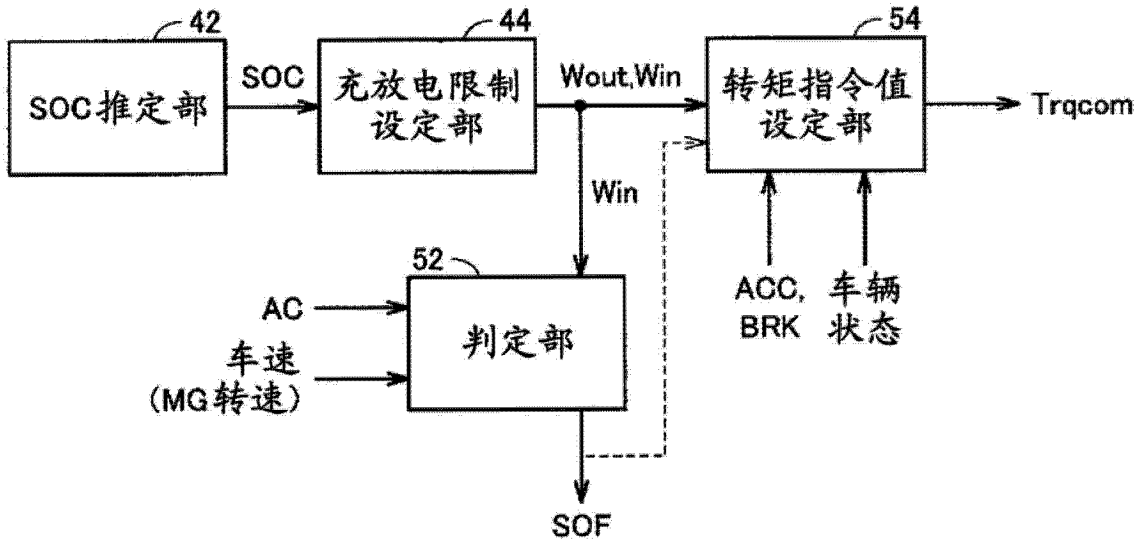


图 3

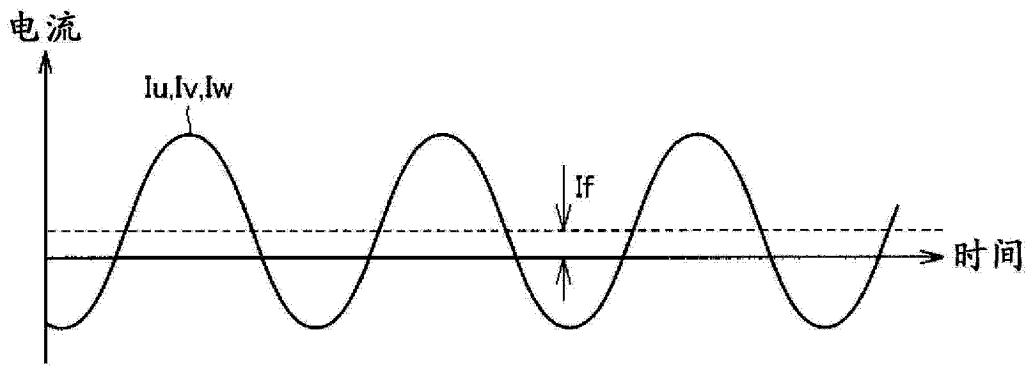


图 4



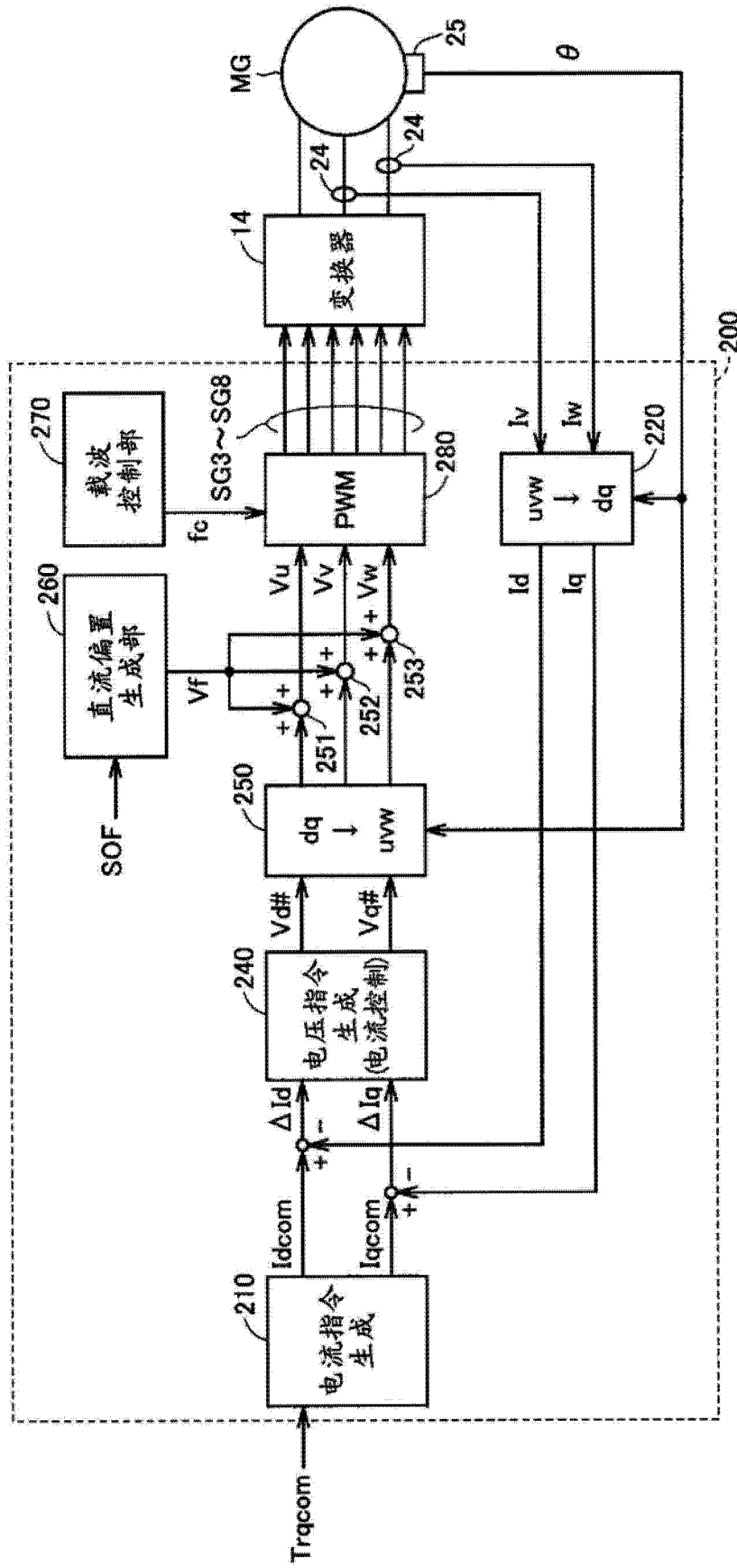


图 5

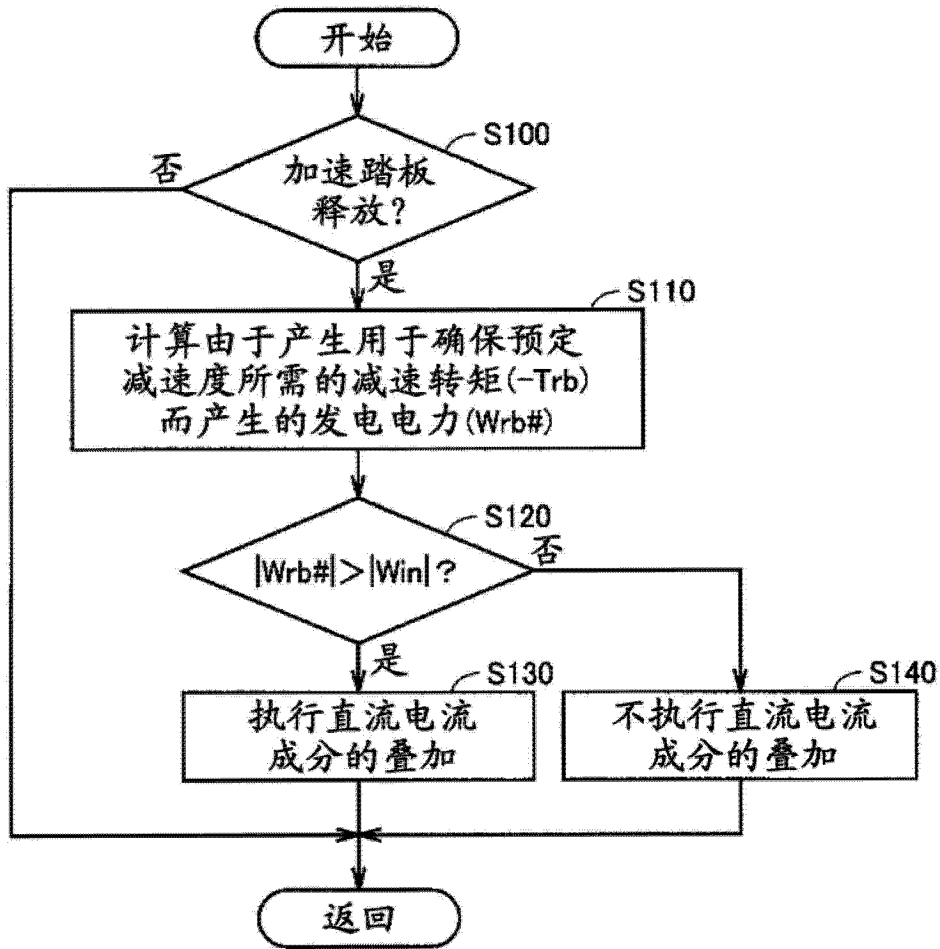


图 6

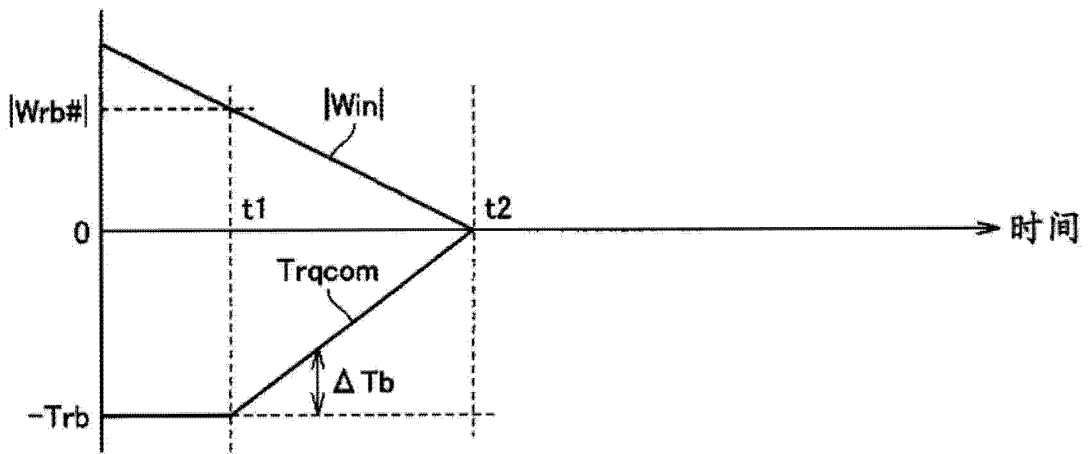


图 7

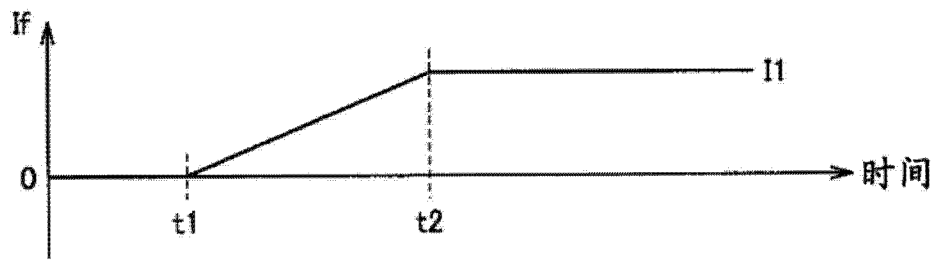


图 8

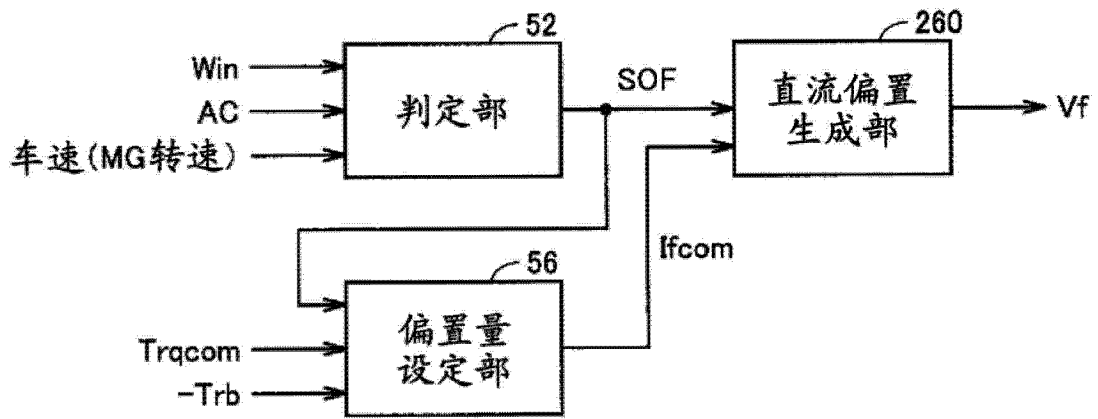


图 9

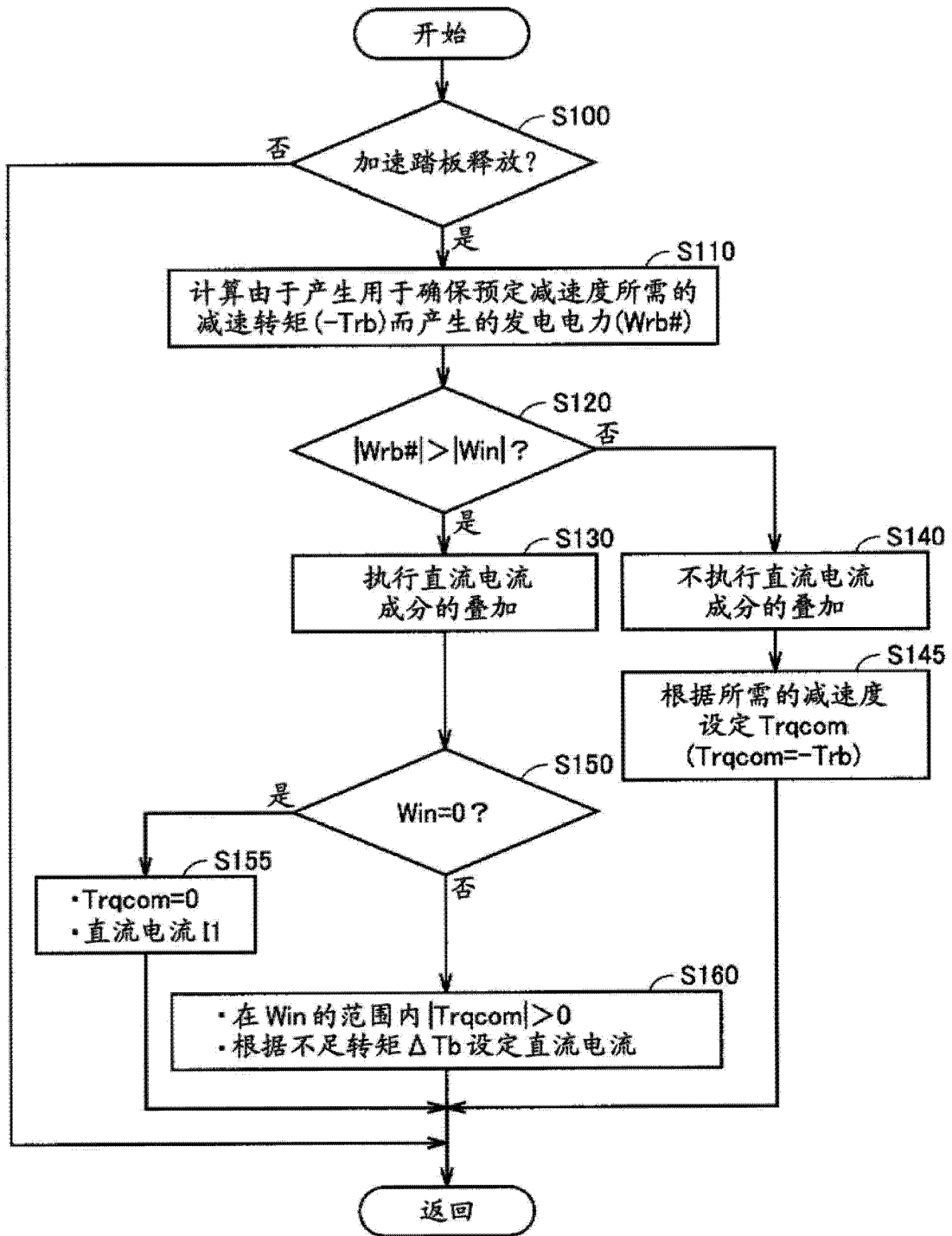
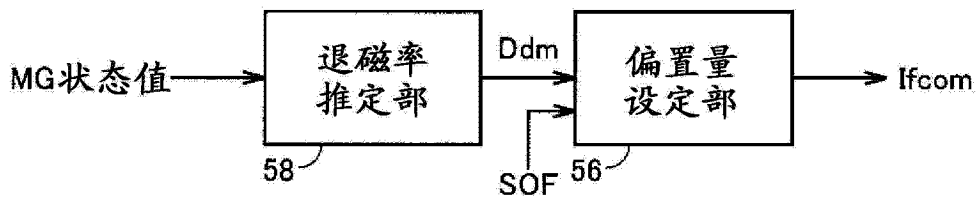
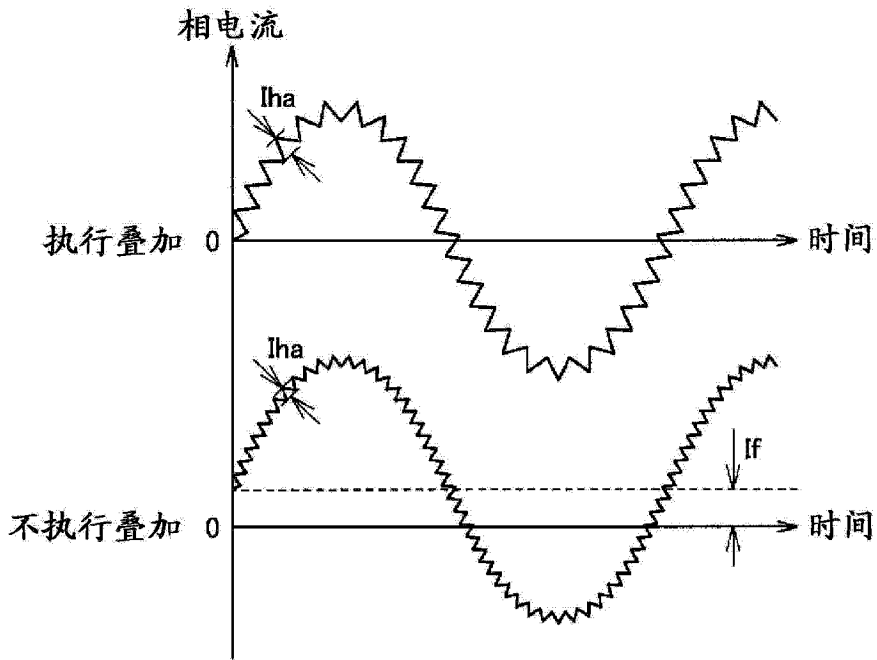
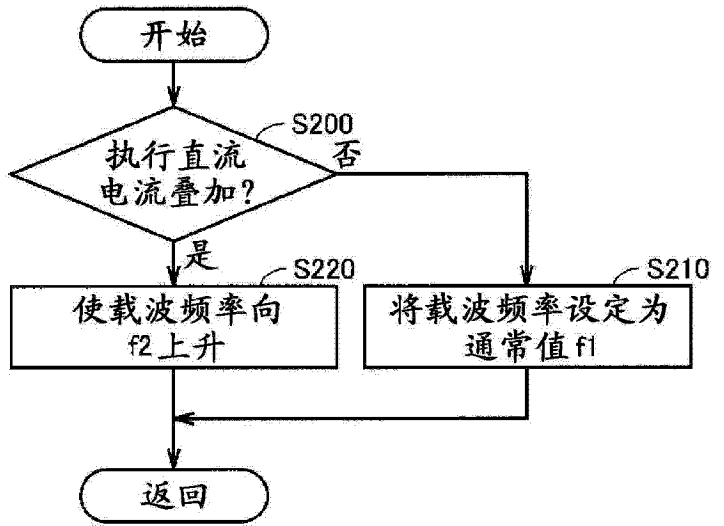


图 10



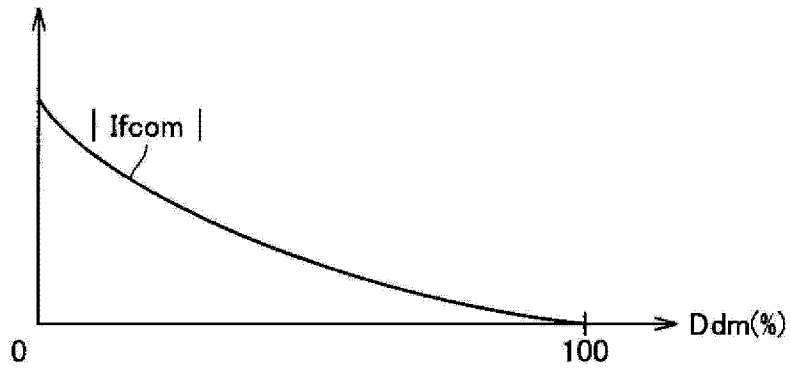


图 15

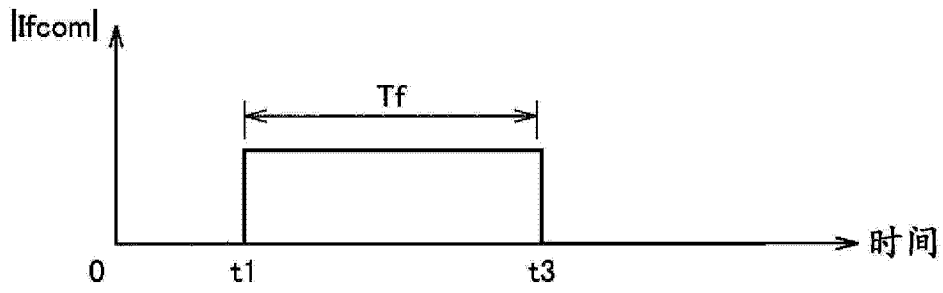


图 16

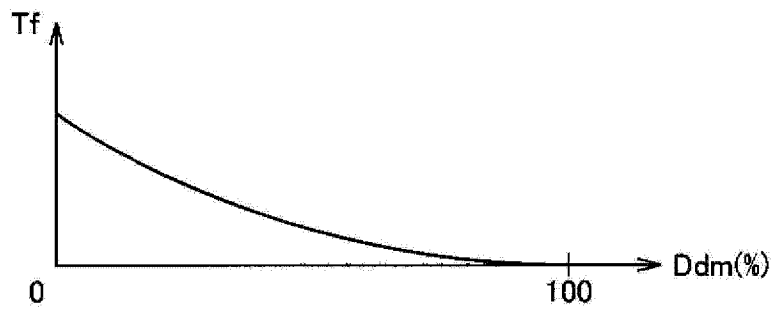


图 17

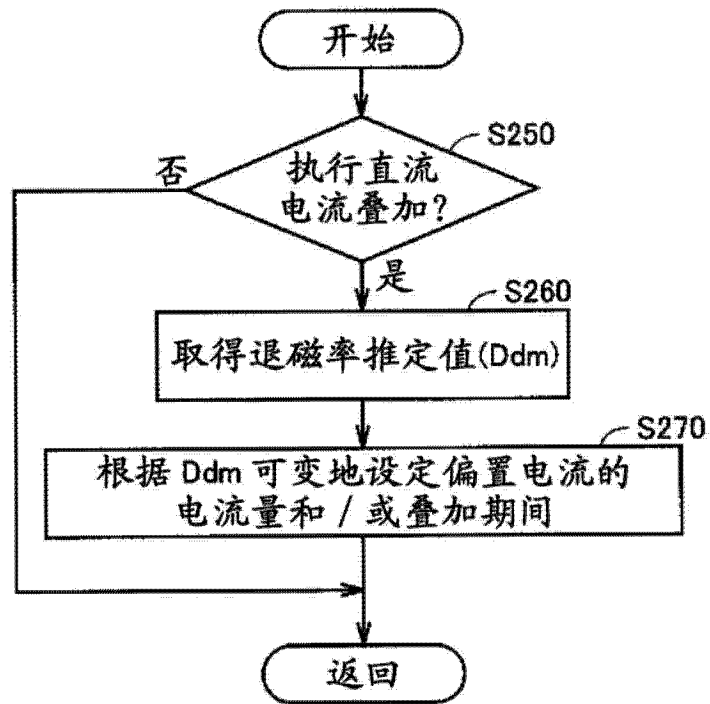


图 18