



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108215747 A

(43)申请公布日 2018.06.29

(21)申请号 201810002393.8

(22)申请日 2018.01.02

(71)申请人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙坪坝正街
174号

(72)发明人 胡晓松 李亚鹏 冯飞 谢翌
唐小林 杨亚联

(74)专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有
限公司 11275

代理人 赵荣之

(51)Int.Cl.

B60K 1/02(2006.01)

G06F 17/50(2006.01)

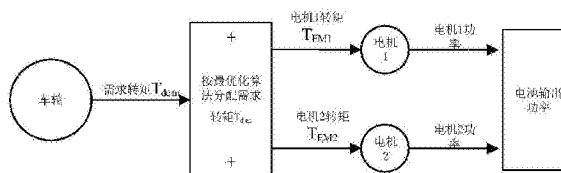
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算
法的转矩优化方法

(57)摘要

本发明涉及一种纯电动汽车的双电机布置
和基于凸优化算法的转矩优化方法,该方法包含
如下步骤:S1:根据汽车的参数,建立汽车的纵向
动力学模型;S2:选择汽车的循环工况,根据所选
择的循环工况,计算汽车的需求转矩 $T_{dem}(k)$ 、需
求功率 $P_{dem}(k)$ 、最大需求转矩 $T_{dem,max}$ 和最大需求
功率 $P_{dem,max}$;S3:在假设汽车电池的容量满足动
力性需求的前提下,根据 $T_{dem,max}$ 和 $P_{dem,max}$ 的值,
选择汽车的电机尺寸和电池尺寸;S4:通过凸优
化算法对汽车的电机和电池进行凸优化处理;
S5:对汽车传动系统的各部件工作状态进行约
束;S6:确定成本目标函数。本发明方法选择双电
机布置,弥补了单电机布置电动汽车电机工作效
率低的缺点,同时本发明的优化算法计算时间
快,结果准确。



1. 纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法,其特征在于:该方法包含如下步骤:

S1:根据汽车的参数,建立汽车的纵向动力学模型;

S2:选择汽车的循环工况,根据所选择的循环工况,计算汽车的需求转矩 $T_{dem}(k)$ 、需求功率 $P_{dem}(k)$ 、最大需求转矩 $T_{dem,max}$ 和最大需求功率 $P_{dem,max}$;

S3:在假设汽车电池的容量满足动力性需求的前提下,根据 $T_{dem,max}$ 和 $P_{dem,max}$ 的值,选择汽车的电机尺寸和电池尺寸;

S4:通过凸优化算法对汽车的电机和电池进行凸优化处理;

S5:对汽车传动系统的各部件工作状态进行约束;

S6:确定成本目标函数。

2. 根据权利要求1所述的纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法,其特征在于:步骤S1中,建立汽车的纵向动力学模型为:

$$F_t(k) = \frac{c_d A_f \rho v(k)^2}{2} + m_{tot} g c_r \cos(\beta(k)) + m_{tot} g \sin(\beta(k)) + m_{tot} a(k)$$

其中, $F_t(k)$ 表示汽车牵引力, $\frac{c_d A_f \rho v(k)^2}{2}$ 示汽车行驶时的空气阻力, c_d 为空气阻力系数, A_f 为汽车的迎风面积, ρ 为空气密度, v 为汽车行驶速度, k 代表汽车行驶时刻, g 为重力加速度, c_r 为道路的滚动阻力系数, β 为道路坡度, a 为汽车行驶时的加速度, m_{tot} 表示汽车的质量。

3. 根据权利要求2所述的纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法,其特征在于:步骤S2中计算汽车的需求转矩 $T_{dem}(k)$ 、需求功率 $P_{dem}(k)$ 、最大需求转矩 $T_{dem,max}$ 和最大需求功率 $P_{dem,max}$ 为:

$$P_{dem}(k) = F_t(k) * v(k)$$

$$T_{dem}(k) = F_t(k) * r_{wheel}$$

$$T_{dem,max} = \max(T_{dem}(k))$$

$$P_{dem,max} = \max(P_{dem}(k))$$

其中, $F_t(k)$ 为 k 时刻汽车的牵引力, $v(k)$ 为 k 时刻汽车的速度, r_{wheel} 为汽车的车轮半径。

4. 根据权利要求3所述的纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法,其特征在于:步骤S3中选择汽车的电机尺寸和电池尺寸满足:

$$T_{EM2,max} > T_{EM1,max}$$

$$P_{EM2,max} > P_{EM1,max}$$

$$T_{EM1,max} + T_{EM2,max} \geq T_{dem,max}$$

$$P_{bat,max} \geq P_{dem,max}$$

其中, $T_{EM2,max}$ 为汽车后轮电机的最大输出转矩, $T_{EM1,max}$ 为汽车前轮电机的最大输出转矩, $P_{EM2,max}$ 为汽车后轮电机的最大输出功率, $P_{EM1,max}$ 为汽车前轮电机的最大输出功率, $P_{bat,max}$ 为电池的最大输出功率。

5. 根据权利要求4所述的纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法,其特征在于:步骤S4中所述凸优化处理为:

$$P_{EMI,loss}(k) = a_{i1}(k) * T_{EMi}^2(k) + a_{i2}(k) * T_{EMi}(k) + a_{i3}(k), \quad i = 1, 2$$

$$V_{oc}(k) = b_0 * SOC(k) + b_1$$

其中, $P_{EMi,loss}(k)$ 为k时刻电机的损失功率, a_{ij} ($i=1,2, j=1,2,3$) 为功率损失的系数, V_{oc} 为电池的开路电压, $T_{EMi}(k)$ ($i=1,2$) 为前后轮电机在k时刻的输出转矩, b_0, b_1 为拟合电池电压的系数, 为常值, $SOC(k)$ 为汽车电池在k时刻的荷电状态。

6. 根据权利要求5所述的纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法, 其特征在于: 步骤S5对汽车传动系统的各部件工作状态进行约束具体为:

$$T_{EMi}(k) \in [T_{ENi,min}, T_{EMi,max}]$$

$$P_{bat}(k) \in [P_{bat,min}, P_{bat,max}] * S_{bat}$$

$$E_{bat} \in [SOC_{min}, SOC_{max}] * V_{oc} * Q * S_{bat}$$

$$S_{bat} \in [S_{bat,min}, S_{bat,max}]$$

其中 $T_{EMi}(k)$ 为汽车前后轮电机在k时刻的输出转矩, $P_{bat}(k)$ 为电池在k时刻的功率, E_{bat} 为电池的储存电量, $P_{bat,min}, P_{bat,max}$ 分别为电池功率的最小值和最大值, SOC_{min}, SOC_{max} 分别为电池荷电状态的最小值和最大值, V_{oc} 为电池的开路电压, Q 为电池的容量, S_{bat} 为电池的尺寸系数, $S_{bat,min}, S_{bat,max}$ 分别为电池尺寸系数的最小值和最大值。

7. 根据权利要求6所述的纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法, 其特征在于: 步骤S6中成本目标函数为:

$$J_{cost} = \min \text{cost}_{bat} + \int P_{bat} dt$$

$$\text{cost}_{bat} = w_b * S_{bat}$$

其中, cost_{bat} 为电池的成本, w_b 为电池的成本系数。

纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法

技术领域

[0001] 本发明属于新能源汽车技术领域,涉及一种纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法。

背景技术

[0002] 随着全球石油资源的日益紧张以及传统汽车的尾气排放造成的环境污染愈来愈严重,促使各国都大力支持发展纯电动汽车。与传统汽车或者混合动力汽车相比,纯电动汽车有着零排放,无污染的突出优点。

[0003] 纯电动汽车的传动系统通常由动力电池、驱动电机、变速箱组成,随着电机控制技术的成熟,已有电动汽车采用无变速器结构,直接控制电机的转速来实现汽车速度的变化。现有技术多采用一个动力电池和一个驱动电机,或者一个动力电池两个相同的驱动电机构成。而四个电机驱动的电动车由于复杂的机电耦合控制,很少运用在实车上。目前纯电动车的电机效率,最大可以达到95%甚至更高,对于单电机的纯电动汽车,其需求转矩 T_{dem} 直接由一个电机提供,为了满足动力性要求,一般会选择一个较大尺寸的电机,其输出最大转矩和最大输出功率较大。这样的传动系布置虽然简单,但是电机大多工作在低效率区域,并且对电池的电量浪费较多。为了解决电机工作在低效率区域的问题,由学者研究出采用两个相对尺寸较小性能相同的电机,平均分配需求转矩,通过同时使两个电机工作在高效率区,进而提高传动系的效率,虽然两个相同电机相互协调工作,可以避免因一个电机工作在低效率区,然而转矩平均分配的策略虽然易于控制,但是并不能保证其控制策略是最优的。上面两种布置结构,都会使得电池的电量不能充分利用,然而为了保证整车的动力性,又必须要加大电池的尺寸,导致纯电动汽车的成本较高,阻碍电动汽车的发展。

[0004] 目前最优化算法中动态规划(DP, Dynamic Programming)算法的可以保证其最优解为全局最优,但是DP的计算时间随着控制变量的增加呈指数趋势增长,计算负担较大。有双电机结构的电动车采用转矩平均分配的策略,这种控制策略虽然简单可以节省时间,但是并不能保证转矩的分配是全局最优的。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法,实现在允许误差内,最优解为全局最优解,并且计算时间少,结果准确的目的。

[0006] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0007] 纯电动汽车的双电机布置和基于凸优化算法的转矩优化方法,该方法包含如下步骤:

[0008] S1:根据汽车的参数,建立汽车的纵向动力学模型;

[0009] S2:选择汽车的循环工况,根据所选择的循环工况,计算汽车的需求转矩 $T_{dem}(k)$ 、需求功率 $P_{dem}(k)$ 、最大需求转矩 $T_{dem,max}$ 和最大需求功率 $P_{dem,max}$;

[0010] S3:在假设汽车电池的容量满足动力性需求的前提下,根据 $T_{dem,max}$ 和 $P_{dem,max}$ 的值,选择汽车的电机尺寸和电池尺寸;

[0011] S4:通过凸优化算法对汽车的电机和电池进行凸优化处理;

[0012] S5:对汽车传动系统的各部件工作状态进行约束;

[0013] S6:确定成本目标函数。

[0014] 进一步,步骤S1中,建立汽车的纵向动力学模型为:

$$[0015] \quad F_t(k) = \frac{c_d A_f \rho v(k)^2}{2} + m_{tot} g c_r \cos(\beta(k)) + m_{tot} g \sin(\beta(k)) + m_{tot} a(k)$$

[0016] 其中, $F_t(k)$ 表示汽车牵引力, $\frac{c_d A_f \rho v(k)^2}{2}$ 表示汽车行驶时的空气阻力, c_d 为空气阻力系数, A_f 为汽车的迎风面积, ρ 为空气密度, v 为汽车行驶速度, k 代表汽车行驶时刻, g 为重力加速度, c_r 为道路的滚动阻力系数, β 为道路坡度, a 为汽车行驶时的加速度, m_{tot} 表示汽车的质量。

[0017] 进一步,步骤S2中计算汽车的需求转矩 $T_{dem}(k)$ 、需求功率 $P_{dem}(k)$ 、最大需求转矩 $T_{dem,max}$ 和最大需求功率 $P_{dem,max}$ 为:

$$[0018] \quad P_{dem}(k) = F_t(k) * v(k)$$

$$[0019] \quad T_{dem}(k) = F_t(k) * r_{wheel}$$

$$[0020] \quad T_{dem,max} = \max(T_{dem}(k))$$

$$[0021] \quad P_{dem,max} = \max(P_{dem}(k))$$

[0022] 其中, $F_t(k)$ 为 k 时刻汽车的牵引力, $v(k)$ 为 k 时刻汽车的速度, r_{wheel} 为汽车的车轮半径。

[0023] 进一步,步骤S3中选择汽车的电机尺寸和电池尺寸满足:

$$[0024] \quad T_{EM2,max} > T_{EM1,max}$$

$$[0025] \quad P_{EM2,max} > P_{EM1,max}$$

$$[0026] \quad T_{EM1,max} + T_{EM2,max} \geq T_{dem,max}$$

$$[0027] \quad P_{bat,max} \geq P_{dem,max}$$

[0028] 其中, $T_{EM2,max}$ 为汽车后轮电机的最大输出转矩, $T_{EM1,max}$ 为汽车前轮电机的最大输出转矩, $P_{EM2,max}$ 为汽车后轮电机的最大输出功率, $P_{EM1,max}$ 为汽车前轮电机的最大输出功率, $P_{bat,max}$ 为电池的最大输出功率。

[0029] 进一步,步骤S4中所述凸优化处理为:

$$[0030] \quad P_{EMi,loss}(k) = a_{i1}(k) * T_{EMi}^2(k) + a_{i2}(k) * T_{EMi}(k) + a_{i3}(k), \quad i = 1, 2$$

$$[0031] \quad V_{oc}(k) = b_0 * SOC(k) + b_1$$

[0032] 其中, $P_{EMi,loss}(k)$ 为 k 时刻电机的损失功率, a_{ij} ($i=1, 2, j=1, 2, 3$)为功率损失的系数, V_{oc} 为电池的开路电压, $T_{EMi}(k)$ ($i=1, 2$)为前后轮电机在 k 时刻的输出转矩, b_0, b_1 为拟合电池电压的系数,为常值, $SOC(k)$ 为汽车电池在 k 时刻的荷电状态。

[0033] 进一步,步骤S5对汽车传动系统的各部件工作状态进行约束具体为:

$$[0034] \quad T_{EMi}(k) \in [T_{ENi,min}, T_{EMi,max}]$$

$$[0035] \quad P_{bat}(k) \in [P_{bat,min}, P_{bat,max}] * S_{bat}$$

$$[0036] \quad E_{bat} \in [SOC_{min}, SOC_{max}] * V_{oc} * Q * S_{bat}$$

[0037] $S_{bat} \in [S_{bat,min}, S_{bat,max}]$

[0038] 其中 $T_{EMi}(k)$ 为汽车前后轮电机在 k 时刻的输出转矩, $P_{bat}(k)$ 为电池在 k 时刻的功率, E_{bat} 为电池的储存电量, $P_{bat,min}, P_{bat,max}$ 分别为电池功率的最小值和最大值, SOC_{min}, SOC_{max} 分别为电池荷电状态的最小值和最大值, V_{oc} 为电池的开路电压, Q 为电池的容量, S_{bat} 为电池的尺寸系数, $S_{bat,min}, S_{bat,max}$ 分别为电池尺寸系数的最小值和最大值。

[0039] 进一步, 步骤 S6 中成本目标函数为:

[0040] $J_{cost} = \min \text{cost}_{bat} + \int P_{bat} dt$

[0041] $\text{cost}_{bat} = W_b * S_{bat}$

[0042] 其中, cost_{bat} 为电池的成本, W_b 为电池的成本系数。

[0043] 本发明的有益效果在于:

[0044] 1、选择双电机布置, 弥补了单电机布置电动汽车电机工作效率低的缺点。

[0045] 2、在选择电机尺寸时, 选择两个尺寸不同的电机, 与两个相同电机布置方案相比较, 减少了两个电机同时工作在低效率区域的时间。

[0046] 3、转矩采用最优分配的算法, 使得两个电机可以同时工作在高效区, 提高能量利用效率。

[0047] 4、可以使得动力电池的尺寸与电机尺寸相匹配, 节约整车成本。

[0048] 5、凸优化算法计算时间快, 结果准确。

附图说明

[0049] 为了使本发明的目的、技术方案和有益效果更加清楚, 本发明提供如下附图进行说明:

[0050] 图1为本发明方法的整车传动系统结构图;

[0051] 图2为本发明方法的所选的小电机的效率图;

[0052] 图3为本发明方法的所选的大电机的效率图;

[0053] 图4为本发明汽车在行驶时的功率流和转矩流。

具体实施方式

[0054] 下面将结合附图, 对本发明的优选实施例进行详细的描述。

[0055] 本发明的实施可以通过纯电动客车模型来实现, 如图1所示, 该电动车模型配备两个驱动电机, 分别布置在前桥和后桥上, 后桥采用尺寸较大的电机2, 其最大输出转矩和输出功率均大于前桥电机1, 两个电机的效率图如图2、图3所示, 由于初始尺寸不同, 故两个电机的高效率区域也不同, 其中电机1高效率区在低转矩 (400N*m-800N*m)、高转速区域, 而电机2的则在高转矩 (600N*m-1000N*m)、中转速区域。由于有两个电机驱动, 故该车的动力性可以满足, 此外由于两个电机的效率图不同, 所以用最优化控制算法将需求转矩 T_{dem} 分配给两个电机, 转矩分配原理具体在图4中。

[0056] 本发明的具体步骤如下:

[0057] S1: 首先要根据汽车参数建立客车动力学模型, 在 k 时刻, 汽车的牵引力为:

[0058]
$$F_t(k) = \frac{c_d A_f \rho v(k)^2}{2} + m_{tot} g c_r \cos(\beta(k)) + m_{tot} g \sin(\beta(k)) + m_{tot} a(k)$$

[0059] 其中, $\frac{c_d A_f \rho v(k)^2}{2}$ 为汽车行驶时的空气阻力, $m_{tot} g c_r \cos(\beta(k))$ 为滚动阻力, $m_{tot} g \sin(\beta(k))$ 为爬坡阻力, $m_{tot} a(k)$ 为加速阻力。 $F_t(k)$ 表示汽车牵引力, c_d 为空气阻力系数, A_f 为汽车的迎风面积, ρ 为空气密度, v 为汽车行驶速度, k 代表汽车行驶时刻, g 为重力加速度, c_r 为道路的滚动阻力系数, β 为道路坡度, a 为汽车行驶时的加速度, m_{tot} 表示汽车的质量。

[0060] S2: 随机选择一个循环工况, 根据选择的循环工况, 计算汽车的需求转矩 $T_{dem}(k)$ 、需求功率 $P_{dem}(k)$ 、最大需求转矩 $T_{dem,max}$ 和最大需求功率 $P_{dem,max}$;

$$[0061] \quad P_{dem}(k) = F_t(k) * v(k)$$

$$[0062] \quad T_{dem}(k) = F_t(k) * r_{wheel}$$

$$[0063] \quad T_{dem,max} = \max(T_{dem}(k))$$

$$[0064] \quad P_{dem,max} = \max(P_{dem}(k))$$

[0065] 其中, $F_t(k)$ 为 k 时刻汽车的牵引力, $v(k)$ 为 k 时刻汽车的速度, r_{wheel} 为汽车的车轮半径。

[0066] S3: 假设电池的容量满足动力性需求, 根据 $T_{dem,max}$ 和 $P_{dem,max}$ 的值, 选择合适的电机和电池尺寸, 使其满足:

$$[0067] \quad T_{EM2,max} > T_{EM1,max}$$

$$[0068] \quad P_{EM2,max} > P_{EM1,max}$$

$$[0069] \quad T_{EM1,max} + T_{EM2,max} \geq T_{dem,max}$$

$$[0070] \quad P_{bat,max} \geq P_{dem,max}$$

[0071] 其中, $T_{EM2,max}$ 为汽车后轮电机 (电机2) 的最大输出转矩, $T_{EM1,max}$ 为汽车前轮电机 (电机1) 的最大输出转矩, $P_{EM2,max}$ 为汽车电机2的最大输出功率, $P_{EM1,max}$ 为汽车电机1的最大输出功率, $P_{bat,max}$ 为电池的最大输出功率。

[0072] 此外, 在循环工况内, 要始终满足并保持电机1和电机2的转速相同:

$$[0073] \quad \omega_{EM1} = \omega_{EM2}$$

[0074] S4: 通过凸优化算法对汽车的电机和电池进行凸优化处理, 本发明采用将电机功率损失用二次拟合的方式来表达, 此外, 电池的电压与荷电状态可以用线性的关系式表达, 本发明所做凸化步骤如下:

$$[0075] \quad P_{EMi,loss}(k) = a_{i1}(k) * T_{EMi}^2(k) + a_{i2}(k) * T_{EMi}(k) + a_{i3}(k), \quad i = 1, 2$$

$$[0076] \quad V_{oc}(k) = b_0 * SOC(k) + b_1$$

[0077] 其中, $P_{EMi,loss}(k)$ 为 k 时刻电机的损失功率, a_{ij} ($i = 1, 2, j = 1, 2, 3$) 为功率损失的系数, V_{oc} 为电池的开路电压, $T_{EMi}(k)$ ($i = 1, 2$) 为前后轮电机在 k 时刻的输出转矩, b_0, b_1 为拟合电池电压的系数, 为常值, $SOC(k)$ 为汽车电池在 k 时刻的荷电状态。

[0078] S5: 对客车传动系的各部件工作状态进行约束:

$$[0079] \quad T_{EMi}(k) \in [T_{EMi,min}, T_{EMi,max}]$$

$$[0080] \quad P_{bat}(k) \in [P_{bat,min}, P_{bat,max}] * S_{bat}$$

$$[0081] \quad E_{bat} \in [SOC_{min}, SOC_{max}] * V_{oc} * Q * S_{bat}$$

$$[0082] \quad S_{bat} \in [S_{bat,min}, S_{bat,max}]$$

[0083] $T_{EMi,min}, T_{EMi,max}$ 分别表示前后轮电机的最小输出转矩和最大输出转矩, $P_{bat}(k)$ 为电池在 k 时刻的功率, E_{bat} 为电池的储存电量, $P_{bat,min}, P_{bat,max}$ 分别为电池功率的最小值和最大

值, SOC_{\min} , SOC_{\max} 分别为电池荷电状态的最小值和最大值, V_{oc} 为电池的开路电压, Q 为电池的容量, S_{bat} 为电池的尺寸系数, $S_{bat, \min}$, $S_{bat, \max}$ 分别为电池尺寸系数的最小值和最大值。

[0084] S6: 确定成本目标函数 J_{cost} , 本发明方法确定的目标函数不仅仅是循环工况内的能量消耗, 更包含了电池的成本, 因此目标函数不仅能保证能量消耗最小, 而且保证电池的尺寸在合理的范围内:

$$[0085] \quad J_{cost} = \min \text{cost}_{bat} + \int P_{bat} dt$$

$$[0086] \quad \text{cost}_{bat} = W_b * S_{bat}$$

[0087] 其中 cost_{bat} , W_b 为电池的成本和成本系数。

[0088] 将数据在时域内离散化求解, 将目标函数转化为:

$$[0089] \quad J_{cost} = \min \text{cost}_{bat} + \sum_{k=1}^N P_{bat} * \Delta t$$

[0090] Δt 为采样时间间隔, N 为采样点数。

[0091] 最后说明的是, 以上优选实施例仅用以说明发明的技术方案而非限制, 尽管通过上述优选实施例已经对本发明进行了详细的描述, 但本领域技术人员应当理解, 可以在形式上和细节上对其作出各种各样的改变, 而不偏离本发明权利要求书所限定的范围。

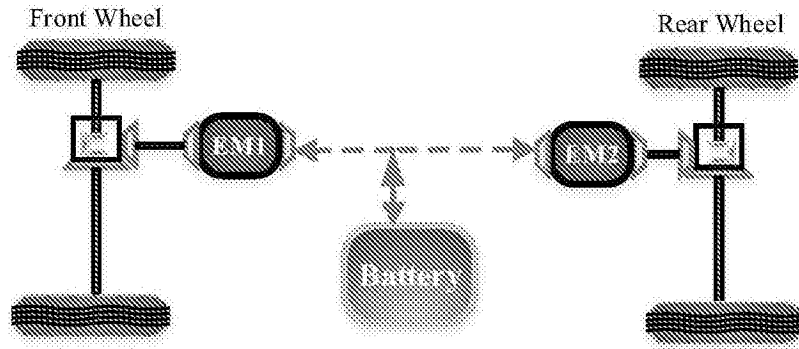


图1

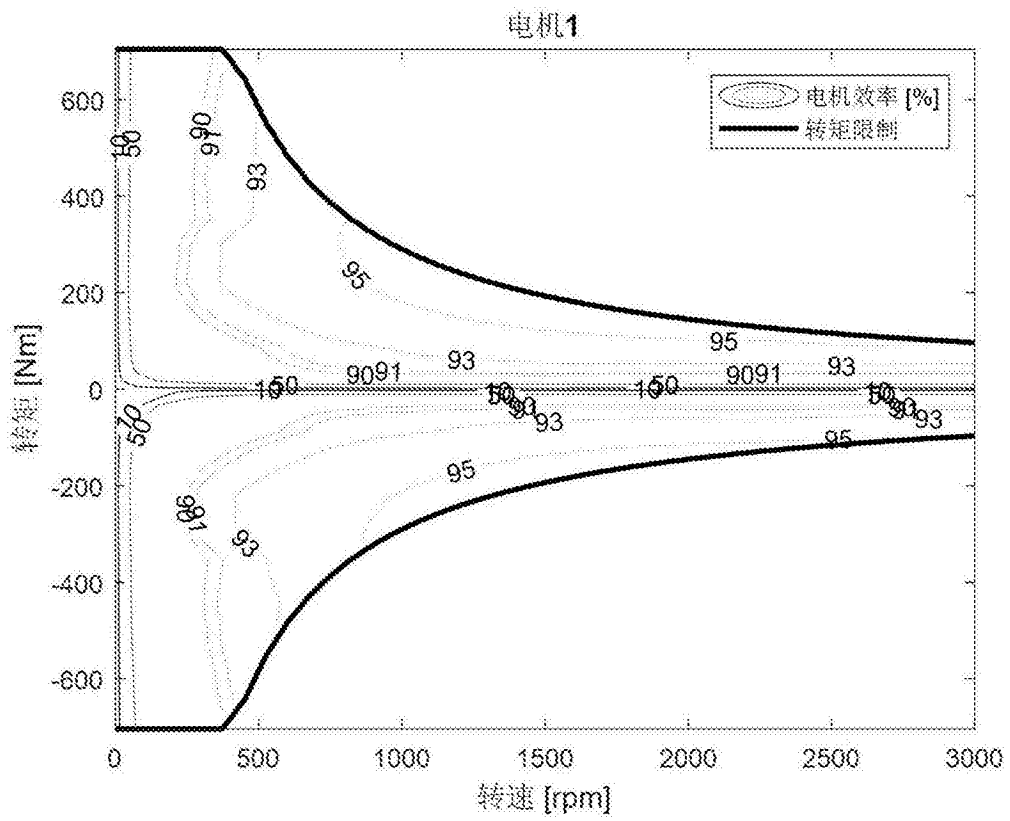


图2

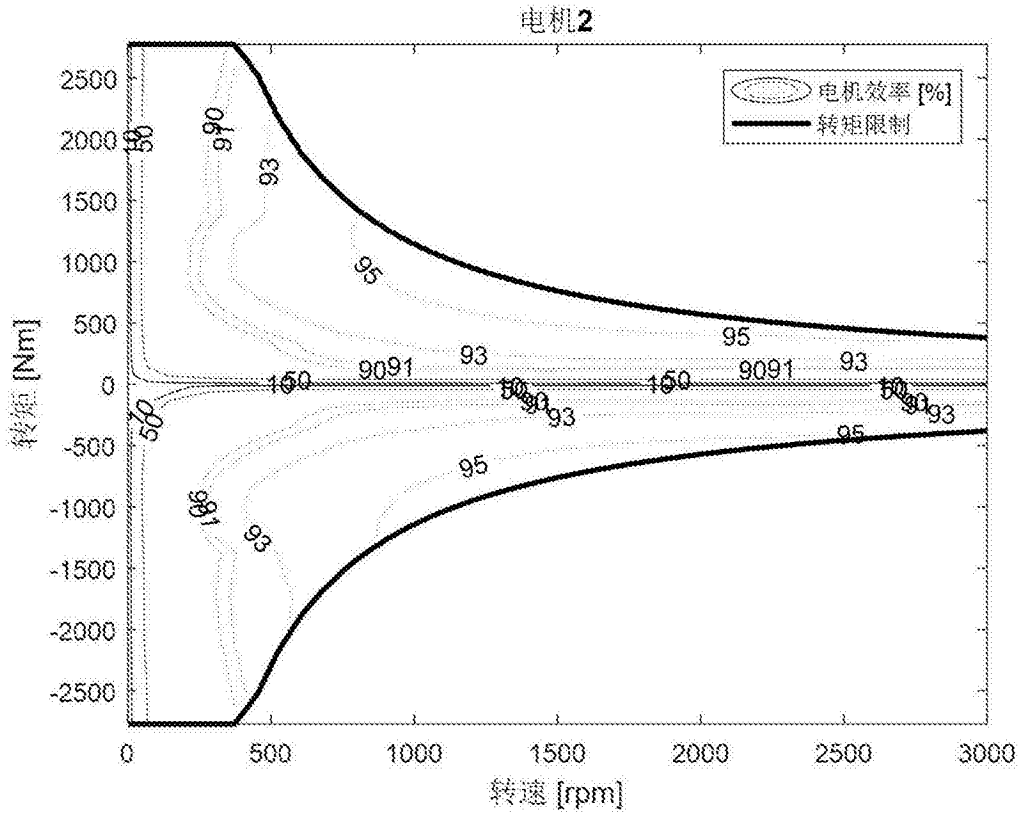


图3

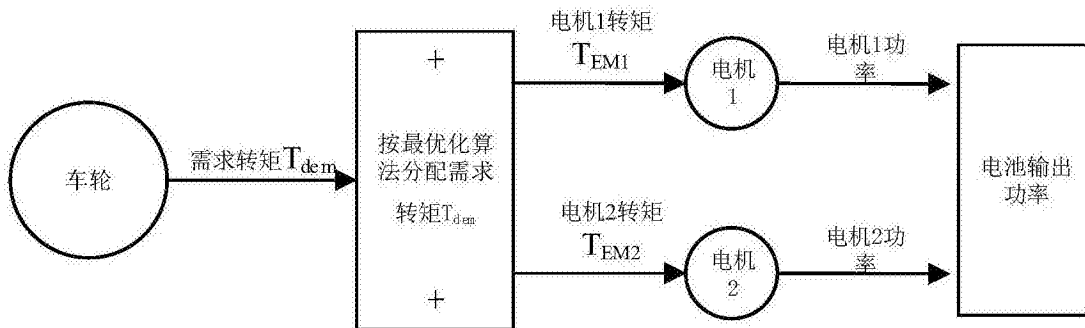


图4