

电动汽车回馈制动发电储能装置控制电路

潘 峰, 赵金国, 游松超, 阎治安

(西京学院, 西安 710123)

摘 要: 电动汽车在频繁减速过程中, 存在着大量动能被消耗掉的问题。针对该问题, 提出了采用开关斩波升压技术, 实现电动汽车在制动过程中所产生能量的回收。设计了专用的整流电路、升压变换电路和检测与保护电路, 并对该储能控制系统电路进行了建模仿真。仿真结果表明可利用回馈制动发电储能装置进行充电, 解决了蓄电池延长续航能力的问题。

关键词: 电动汽车; 升压斩波; 仿真; 回馈制动

中图分类号: U469.7

文献标识码: A

文章编号: 1673-6524(2018)04-0000-00

电动汽车回馈制动发电储能装置控制电路

潘 峰, 赵金国, 游松超, 阎治安

(西京学院, 西安 710123)

摘 要: 电动汽车在频繁减速过程中, 存在着大量动能被消耗掉的问题。针对该问题, 提出了采用开关斩波升压技术, 实现电动汽车在制动过程中所产生能量的回收。设计了专用的整流电路、升压变换电路和检测与保护电路, 并对该储能控制系统电路进行了建模仿真。仿真结果表明可利用回馈制动发电储能装置进行充电, 解决了蓄电池延长续航能力的问题。

关键词: 电动汽车; 升压斩波; 仿真; 回馈制动

中图分类号: U469.7 文献标识码: A 文章编号: 1673-6524(2018)04-0000-00

引 言

回馈制动技术常用于铁路运输电力机车和城市客运无轨电车, 其牵引电动机用的是直流串励电动机, 而电动汽车的牵引电动机是交流伺服电动机或无刷直流电动机。本文将回馈制动技术用于电动汽车, 回馈制动又称再生制动, 其原理是在制动时将电动汽车行驶的能量(含势能)有效利用。尤其是回馈制动, 就是将电动汽车下坡的势能转换为电能再回馈给电网。通过本文分析, 电动汽车制动时电机以发电方式工作, 给蓄电池充电, 存储电能, 大大改善了目前由于蓄电池能量密度低带来的续航里程短的问题。

根据电机理论, 回馈制动系统在电动汽车上的应用从理论上分析是可行的。本文旨在通过 MATLAB 仿真得到回馈制动系统运行时的相关参数及波形, 进而验证回馈制动的储能控制技术在电动汽车领域应用的必要性。

直流电动机的回馈制动原理

传统的回馈制动适用于串励直流电动机中, 当

电动汽车下坡时, 直流电动机的励磁绕组由串励式改接为他励式。电动汽车直流电动机工作原理如图 1 所示, 直流电动机电枢两端接电网, 电网电压为 U ; 用另一直流电源(例如蓄电池)作为励磁电源, 当励磁绕组(图中略)中通有直流励磁电流 I_f 时, 气隙中就会产生一个恒定的主磁场, 以一台简单的两极直流电动机为例, 假设定子部分上端为 C 极, 下端为 P 极; R_a 为电枢电阻; I_a 为电枢电流; n 为电枢电角速度; E_a 为电枢电势。

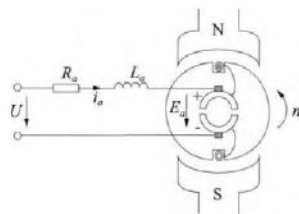


图 1 电动汽车直流电动机工作原理图

由图 1 可知, 电动汽车电动机动态电压平衡方程式:

$$U = E_a + I_a R_a \quad (1)$$

已知直流电动机的电磁转矩和电枢电势的表达式^[1]分别为:

$$T = K_t I_a \quad (2)$$

$$E_a = K_e \omega \quad (3)$$

式(2)~式(3)中: T 为电磁转矩; K_t 为转矩结构常

数 k_e 为磁通; U_0 为电势结构常数; ω 为转速

在这里为了分析方便, 忽略电动机直流电动机电枢电阻 r_a 和电枢电感 L_a , 即电动汽车电动机动态电压平衡方程式 (1) 可化为:

$$U = E_0 \quad (1)$$

假设电动汽车总负载转矩为 T_L , 则转矩平衡方程式:

$$T = T_L \quad (2)$$

当电动车下坡时, 转速 ω 越来越高, 随着转速 ω 的逐渐升高, 电枢电势 $E = U_0 \omega$ 逐渐增大, 出现 $E > U$, 此时电机作为发电机运行^[1], 向电网输送电能。与此同时, 电枢电流 i_a 反向, 产生的电磁转矩 T 方向也改变, 与转子旋转方向相反, 对于下坡的电动车来说为制动作用, 电机的回馈制动技术既保证了能量的回收利用, 又使得电车能够平稳的运行。

电动汽车回馈制动发电储能装置控制系统设计

电动汽车的动力系统主要由电动机、机械传动单元、变速箱和控制器等四大部分组成, 电动汽车的动力系统结构框图如图 1 所示, 选择永磁无刷直流电动机作为电动汽车的驱动电机。

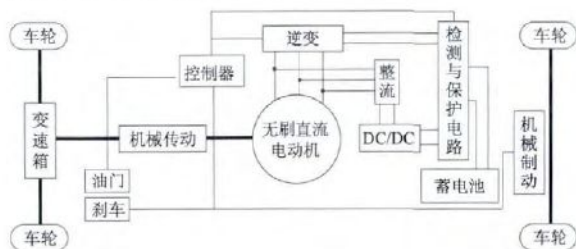


图 1 电动汽车的动力系统结构框图

由电动汽车的动力系统结构框图可知, 电动车回馈发电储能装置包括能量转换单元、控制单元和能量存储单元。能量转换单元是将电动汽车刹车或滑行中的汽车动能带动电机转子旋转, 从而将机械能转化为电能, 再经过整流电路转化为直流电, 为保证制动回馈的电能输送到能量存储单元蓄电池, 本文提出了一种回馈发电储能装置控制系统的设计方法, 将永磁无刷直流电动机制动过程输出的三相交流电经整流电路转化直流电, 为了提高直流电压的利用效率和回馈发电储能装置的可靠性, 需设计相应的 ĄöŒŒŒ 升压变换电路和检测保护电路。

整流电路的设计

回馈发电储能装置的整流电路采用的是三相不可控整流电路的整流方法, 与传统的三相不可控整流电路相比又有所区别。它是由两个传统的三相不可控整流电路并联并加有 ĩŒ 型滤波电路^[2]组成, 回馈发电储能装置的整流电路原理图如图 2 所示。

其优点在于, 在很大程度上改善了输出直流电的波形, 而且两个整流桥还起到分流的作用, 降低了对整流二极管的要求, 但是对两个整流桥电路的一致性要求较高。对 ĩŒ 型滤波电路的分析如下:

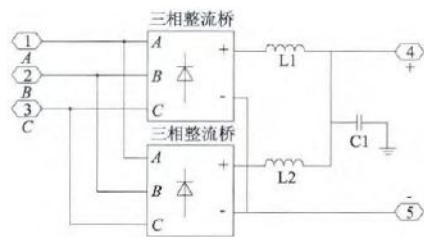


图 2 回馈发电储能装置的整流电路

三相整流输入相电压为 u_y , 整流输出电压为 u_{oy} , 假设 u_{oy} 的直流分量为 u_{oy}^* , 交流分量的基波幅值为 u_{oy}^* , 全波整流的输出电压的脉动系数 $\gamma = \frac{u_{oy}^*}{U_d}$, 输出直流电压有效值:

$$U_d = \frac{u_{oy}^*}{\gamma} \quad (3)$$

$$u_{oy}^* = \frac{a_i \cdot n}{3a_i \cdot a \cdot a_i \cdot n} \cdot u_{oy}^* \quad (4)$$

通常选择滤波元件的参数, 使 $U_d = \frac{\gamma}{U_y} \cdot \delta \cdot a_i$, a_i 为负载电阻。

$$u_{oy}^* = \frac{U_d}{\gamma} = \frac{U_y \cdot a_i \cdot n}{U_y \cdot a_i \cdot n} \cdot u_{oy}^* \quad (5)$$

u_{oy} 的脉动系数 γ 与 u_{oy} 的脉动系数 γ^* 的关系:

$$\gamma = \frac{u_{oy}^*}{U_d} = \frac{\gamma^*}{U_y \cdot a_i \cdot n} \cdot U_y \cdot a_i \cdot n \quad (6)$$

ĄöŒŒŒ 变换电路设计

ĄöŒŒŒ 变换电路采用 ĄöŒŒŒ 升压斩波电路^[3], ĄöŒŒŒ 升压斩波电路的原理图如图 3 所示, 主要有开关管 V_1 、电感 L_3 、电容 C_2 和二极管 D_1 构成。

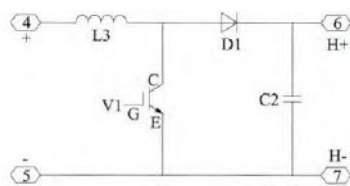


图 3 ĄöŒŒŒ 升压斩波电路的原理图

设可控开关 V_1 处于通态的时间为 t_{on} , 处于断态的时间为 t_{off} , E 为输入电势, e 为控制开关的脉冲周期, 因而得到输出电压:

$$U_d = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \cdot E = \frac{e}{E} \cdot E \quad (7)$$

式中: $\frac{e}{E}$ 为占空比, 输出电压高于电源的输入电势。

ĄöŒŒŒ 升压斩波电路主回路器件的选择及参数计算:

1) 电感的选择

电感器电感值的选取应满足:

$$\bar{n} \approx \frac{U_o \delta_o}{\bar{y} \delta_o} \quad (y \text{ 为 } \delta_o \text{ 的占空比})$$

式中: $\bar{n}$ 为电感值; U_o 为输出电压; δ_o 为 δ_o 驱动信号的占空比; δ_o 为输出电流; δ_o 为开关管的开关周期, 开关频率越高, 电感值就可以取得越小。

y) 电容器的电容量 $\bar{U}$ 选择

对于电容应当满足:

$$\bar{U} \approx \frac{U_o \delta_o}{\bar{y} \delta_o} \quad (y \text{ 为 } \delta_o \text{ 的占空比})$$

式中: $\bar{y} \delta_o$ 为纹波电压, 电容值取得稍大为好。

N) 开关管的选择

输入端的电流 δ_i 可由公式 $\delta_i \delta_i \delta_i \delta_o$ (假设功率管转换中没有损耗), 实际工作电路中, 开关管允许的最大电流应大于 $\bar{y} \delta_i$; 开关管的耐压 $\delta_i \delta_i \delta_i \delta_o$, 其中 δ_i 为二极管的压降, δ_i 一般取 $\bar{y} \delta_i \delta_i$, 而实际上在开关管关断时加在漏极上的电压可能大于此值, 所以开关管关断时漏极的耐压值应大于 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 。

u) 二极管的选择

升压电路中输出二极管 δ_o 必须承受和输出电压值相等的反向电压, 并传导负载所需的最大电流。 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 检测与保护电路的设计

电动汽车回馈发电储能装置控制系统设计的主要目的是回收电动汽车制动或滑行状态时的能量反馈, 在电动汽车电机回馈发电时回馈电能只通过专门设计的回馈发电储能装置控制系统传输的方式, 这里运用了一种最简单的控制方法, 就是在逆变电路与蓄电池连接处串联两个二极管。

另外, 在汽车蓄电池放电状态时要切断电动汽车回馈发电储能系统控制电路, 为了解决这个问题, 本文在回馈发电储能系统中整流电路与 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 升压斩波电路之间串联一个功率开关管, 保证电动汽车正常行驶时处于关断状态, 而在汽车刹车或滑行状态时处于打开状态。

最后, 为了保证整个电动汽车控制系统的可靠性, 在这里设计了专门的电源保护电路, 通过对控制电路中的电压和电流做实时检测, 当出现故障时, 控制系统 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 会发出故障信号, 并且关断与蓄电池电源连接功率开关管。

电动汽车制动回馈能量仿真及分析

针对电动汽车能量回馈电路, 设计了实验室环境和实地样车环境下的实验数据测量, 其中实验样车采用了科惠电机生产的无刷直流电动机, 参数: 额定电压为 $\bar{y} \delta_i \delta_i$, 额定转速为 $\bar{y} \delta_i \delta_i$, 额定峰值转矩为 $\bar{y} \delta_i \delta_i$, 额定峰值功率为 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 。

IOAEIO 蓄电池参数: 额定电压为 $\bar{y} \delta_i \delta_i$, 电池容量为 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 。在 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 的 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 仿真系统中搭建电动汽车回馈发电储能装置控制系统的电路。如图 0 所示, 并对电动汽车回馈发电储能装置控制系统带有 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 升压斩波控制电路和不带 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 升压斩波控制电路两种情况进行比较, 运行结果如图 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 和 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 所示, 图 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 为不带 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 升压斩波控制电路的测试结果, 图 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 为带有 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 升压斩波控制电路的测试结果。

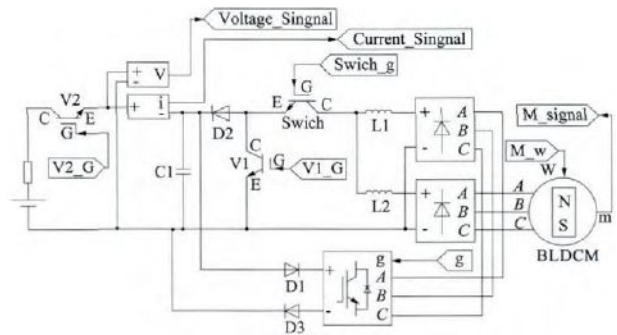


图 0 回馈发电储能装置控制系统的电路仿真建模图

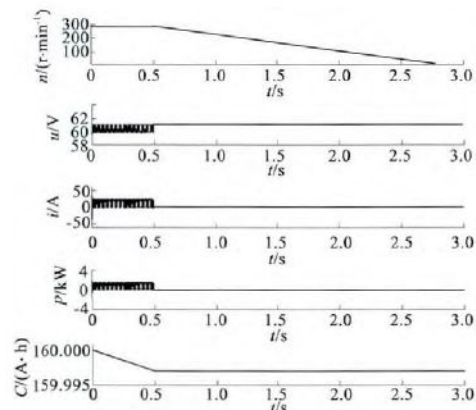


图 0 不带 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 升压斩波控制电路的测试结果

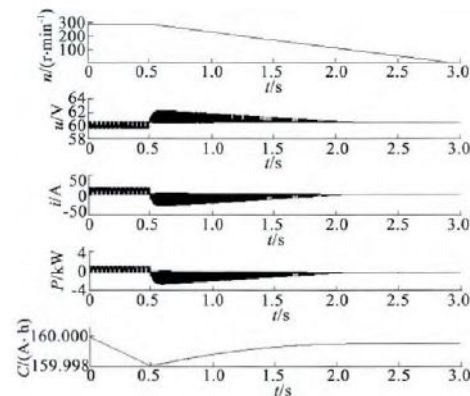


图 0 带有 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 升压斩波控制电路的测试结果

由图 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 和图 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 可知: (y) 当 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 时, 图 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 和 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 中的电机和蓄电池运行曲线完全一致, 电机转速为 $\bar{y} \delta_i \delta_i$, 电机都运行于驱动状态; 蓄电池输出电压约为 $\bar{y} \delta_i \delta_i$;

(下转第 $\bar{y} \delta_i \delta_i$ 页)