

Control Method for DC V2V Discharge of Extended Range Vehicles

Min Liu

No. 618 Liangjiang Avenue, Chongqing, 400000, China

Abstract

When hybrid vehicles are equipped with extended range systems, they have the potential for external discharge, which can achieve vehicle to vehicle discharge, i.e. V2V discharge technology. The popularization of V2V technology has a positive effect on road rescue for new energy vehicles and vehicle energy interaction among vehicle owners. This article intends to provide several control methods for DC V2V discharge to solve the problem of voltage mismatch between discharging vehicles and charging vehicles that prevent discharge.

Keywords

Extended range system; Vehicle To Vehicle; Discharge

增程式汽车直流 V2V 放电的控制方法

刘敏

赛力斯汽车有限公司, 中国·重庆 400000

摘要

当混合动力汽车搭载了增程系统, 就具备了对外放电的潜力, 可以实现车辆对车辆间放电, 即V2V放电技术。V2V技术的普及, 对新能源汽车道路救援和车主间车辆能源互动具有积极的作用。本文拟提供几种直流V2V放电的控制方法, 解决放电车辆与充电车辆间电压不匹配无法放电的问题。

关键词

增程系统; V2V; 放电

1 前言

《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》指出增程式汽车为“三纵”布局中的关键一环^[1]。当前增程式混合动力汽车广泛应用于新能源行业, 由于使用燃油和锂电两种能源, 所以车辆具有很强的适用性, 不仅解决了用户对纯电里程的焦虑, 还降低污染物排放和提高了能源利用率。这种装备增程系统的车辆实际上是具备对外放电的潜力——放电车辆充当充电桩给需要补能的充电车辆进行充电。但该技术亟待解决一项技术瓶颈, 即由于放电车辆和充电车辆间的电压不一致, 从而导致放电车辆无法直接给充电车辆放电。本文拟提出几种实例, 在不改变车辆现有硬件的基础上实现对外放电。

具备对外放电功能的车辆, 可为其他电动汽车提供充电服务, 即V2V。而直流V2V放电技术可实现放电车辆对充电车辆的大功率充电, 在亟需救援场景可以缩短救援时

间, 提升救援效率, 具有很强的实用性。

2 放电原理

图1为增程式汽车典型的电气原理图, 其中BAT为动力蓄电池, F1为快速熔断器, Rp为预充电阻, Kf为预充接触器, Kp为主正接触器, Kn为主负接触器, 这部分电路实现高压上下电功能。增程器一般包含ENG(发动机), GA(发电机), GCU(发电机控制器, 可以同时集成MCUF前电机控制器)三部分, 当放电车辆为四驱车时还应包括后电机控制器。发动机将化学能转化为机械能, 发电机与发动机同轴连接, 将发动机传递的动能转化为三相交流电能, 发电机控制器将三相交流电经过三相整流电路转化为高压直流电与动力蓄电池并联。HVA为高压附件, 一般包含PTC(加热器)、CCU(空调压缩机)、DCDC(直流转换器)等; PDU(高压配电箱)中包含K5、K6两个正负极接触器。DC1为充电插座, DC2、DC3分别为直流V2V传导连接组件的放电插头和充电插头, 其中充电插头与充电车辆连接。

【作者简介】刘敏(1987—), 男, 中国陕西汉中, 本科, 工程师, 从事新能源汽车充放电技术研究。

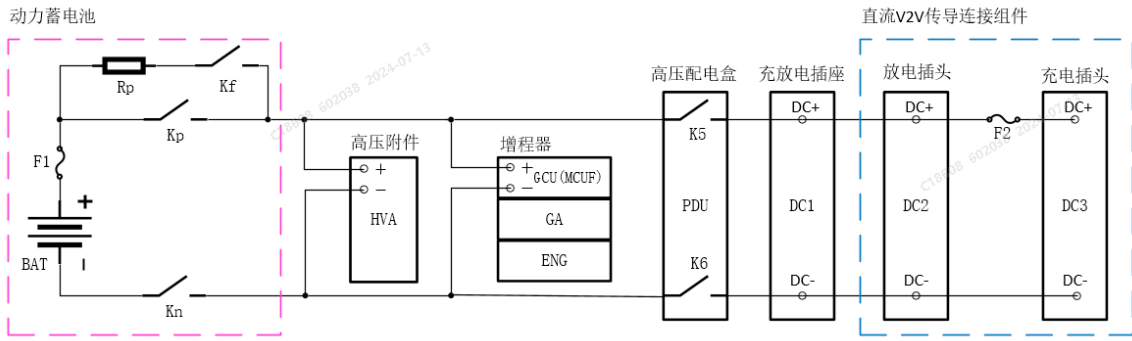


图 1 直流 V2V 放电原理

3 实现过程

3.1 充电车辆准备就绪过程

步骤 1：放电车辆和充电车辆分别插枪，放电车辆进行直流 V2V 放电模式识别，充电车辆进行直流充电模式识别，放电车辆和充电车辆分别唤醒其关联控制器，控制各自车辆处于不可行驶状态。

步骤 2：用户点击放电车辆车内大屏上的 V2V 放电开关，放电车辆输出 12V 辅助电源，连接组件闭合两端电子锁，放电车辆 BMS 按照 GB/T 27930 标准^[2]模仿充电桩发起交互报文。

步骤 3：放电车辆和充电车辆按照 GB/T 27930 进行报文交互，双方握手通过后，放电车辆闭合 K5 和 K6 接触器，进行绝缘检测，输出电压为握手报文内最高允许充电总电压和放电车辆电池当前电压中的较小值。

步骤 4：放电车辆绝缘检测完成后，BMS 断开 K5 和 K6 接触器，放电车辆和充电车辆进行辨识报文交互，辨识通过后充电车辆发送充电参数给放电车辆，在此期间放电车辆获取了充电车辆的当前电池电压。

步骤 5：充电车辆闭合快充接触器，高压电源通过连接组件传递到放电车辆插座，并发送充电车辆准备就绪状态给放电车辆，此后放电车辆需在 1min 之内输出充电车辆的当前电压，否则会引起报文超时退出充电流程。

3.2 放电车辆准备就绪过程

由于放电车辆需在 1min 内准备与充电车辆当前电压接近的电压，为此本文将给出以下 3 种实例。

3.2.1 实例 1

步骤 1：放电车辆收到充电车辆准备就绪状态后，放电车辆 VCU（整车控制器）控制高压附件停机，当母线电流小于 5A 后，BMS 断开主负 Kn 和主正接触器 Kp，MCU 执行主动放电，3s 将电压降低至 60V 以下。此处依据《GB/T 18488-2024 电动汽车用驱动电机系统》5.5.3 条款^[3]要求：“当对驱动电机系统有主动放电要求时，驱动电机控制器被切断直流母线端电源后，驱动电机控制器直流母线电容放电至 60V 所经过的时间不应大于 3s”。

步骤 2：等待 5s 后，放电车辆 BMS 闭合主负 Kn 和预

充接触器 Kf，给直流母线电容充电，当电容上的电压预充到与充电车辆当前电压相差 10V 时，BMS 闭合主正接触器并断开预充接触器，完成高压上电。

步骤 3：待预充结束后放电车辆 BMS 闭合快充接触器 K5 和 K6，充电车辆电源接入放电车辆高压回路。

步骤 4：放电车辆 VCU 控制增程器最终处于正常发电功能。同时，放电车辆接收充电车辆的电压电流需求，并以恒流限压模式^[4]进行能量传输。

步骤 5：放电车辆 VCU 使能高压附件工作。

本实例中，电机主动放电后等待 5s 的作用是使电机的母线电容电压进一步降低，由被动电阻消耗残压。通过预充电路给电容充电的等效原理如下：

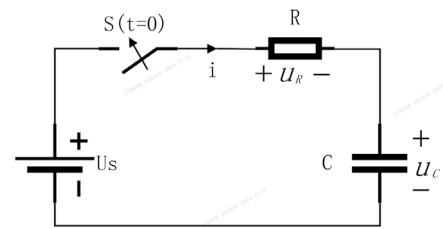


图 2 RC 电路的零状态响应

含有激励源和一个动态储能元件的充电时间计算方法可参考一阶电路的零状态响应^[5]。

上图为 RC 串联电路，开关 S 闭合前电路处于零初始状态，即 $U_C(0)=0$ 。在 $t=0$ 时刻，开关 S 闭合，电路接入直流电压源 U_s 。根据 KVL（基尔霍夫电压定律），有

$$u_R + u_C = U_s \tag{1}$$

将 $u_R = Ri$ ， $i = C \frac{du_C}{dt}$ 代入，得电路的微分方程为：

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U_s \tag{2}$$

此方程为一阶线性非齐次方程。方程的解由非齐次方程的特解 u_C' 和对应的齐次方程的通解 u_C'' 两个分量组成，即

$$u_C = u_C' + u_C'' \tag{3}$$

不难求得特解为

$$u_c' = U_s \quad (4)$$

而齐次方程 $RC \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$ 的通解为

$$u_c'' = A e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5)$$

其中 $\tau = RC$ 。因此

$$u_c = U_s + A e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6)$$

代入初始值，可求得

$$A = -U_s \quad (7)$$

$$u_c = U_s - U_s e^{-\frac{t}{\tau}} = U_s (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (8)$$

进而可以求得

$$t = RC \ln \frac{U_s}{U_s - u_c} \quad (9)$$

其中 U_s 为动力电池， R 为预充电阻， C 为车辆等效电容。

假定放电车辆母线电容的初始电压值 $U_s = 0V$ ，电容最终可充电的电压值为放电车辆的电池当前电压为 $U_s = 450V$ ，充电车辆的电压值为 $300V$ ，预充电电压 $= 290V$ （预充电压差 $10V$ ），预充电阻 $R = 100\Omega$ ，等效母线电容 $C = 1500\mu f$ ，则预充电时间为：

$$t = 100 * 1500 * 10^{-6} * \ln[450 / (450 - 290)] = 155ms$$

预充电差控制在 $10V$ 以内是为了充电车辆接入放电车辆高压回路后不对高压系统不产生过压冲击，为此需要保证预充能够精准控制，一种比较灵活的做法是适当增大预充电阻，但是预充电阻不能增大太多，因为预充电阻增大同时会增大车辆正常上高压的时间；另一方面，控制系统需预估预充接触器的断开时间，比如从指令发出到实际动作可能会有 $30ms$ 延时，所以需要预估此 $30ms$ 内上升的电压，提前发出控制指令。

3.2.2 实例 2

步骤 1：放电车辆收到充电车辆准备就绪状态后，VCU 启动增程器，使增程器进入怠速不发电模式，并禁用高压附件工作。

步骤 2：高压附件停机后，当母线电流降低至 $5A$ 以下时，VCU 控制 GCU 关闭高耐压大电流的 IGBT 或 SIC。^[6]

步骤 3：为保证后续增程器单独给放电车辆放电，需脱离动力电池，为此 VCU 控制 GCU 关闭 IGBT 后，BMS（电池管理系统）断开主负 Kn 和主正接触器 Kp，实现高压下电操作，电池脱离后 GCU 和 MCU 母线电容与 GCU 和 MCU 被动电阻实现串联放电电路。

步骤 4：GCU 与 MCU 电容和电阻组成等效放电网络，电容电压通过被动电阻进行消耗，当电容电压放电至接近充电车辆当前电压时，放电车辆 BMS 闭合快充接触器 K5 和 K6，充电车辆电源接入放电车辆高压回路。

步骤 5：同实例 1 的步骤 4 和步骤 5。

本实例中，通过被动电阻消耗 GCU 和 MCU 电容的等效原理如下：

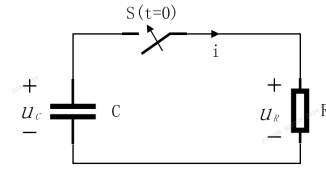


图 3 RC 电路的零输入响应

不含激励源且仅有一个动态储能元件的预充时间计算方法可参考一阶电路的零输入响应。上图的 RC 电路中，开关 S 闭合前，电容已充电，其电压 $U_c = U_0$ 。开关闭合后，根据 KVL 可得

$$u_R - u_c = 0 \quad (10)$$

将 $u_R = Ri$ ， $i = -C \frac{du_c}{dt}$ 代入上述方程，有

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = 0 \quad (11)$$

这是一阶齐次微分方程，初始条件 $u_c(0_+) = u_c(0_-) = U_0$ ，令此方程的通解 $u_c = A e^{pt}$ ，代入上式后有

$$(RCp + 1) A e^{pt} = 0 \quad (12)$$

相应的特征方程为

$$RCp + 1 = 0 \quad (13)$$

特征根为

$$p = -\frac{1}{RC} \quad (14)$$

根据 $u_c(0_+) = u_c(0_-) = U_0$ ，以此代入 $u_c = A e^{pt}$ ，则可求得积分常数 $A = u_c(0_+) = U_0$ 。

进一步求得满足初始值的微分方程的解为

$$u_c = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (15)$$

容易求得

$$t = RC \ln \frac{u_c}{U_0} \quad (16)$$

假定放电车辆母线电容的初始电压值 $= 450V$ ，电容最终放电的电压值 $0V$ ， t 时刻电容上的电压值为充电车辆的电压值 $U_c = 300V$ 。以四驱车为例，其等效电阻为 $31k\Omega$ ，母线等效电容为 $1600\mu f$ 时计算电容放电时间：

$$t_1 = 31 * 10^3 * 1600 * 10^{-6} * \ln(450/300) = 20s$$

在增程器怠速不发电模式，GCU 关管的情况下 GCU 和 MCU 的并联电容电压可以通过 GCU 和 MCU 的并联电阻消耗，从而保证放电车辆电压与充电车辆电压基本相等，进而通过控制放电车辆快充接触器闭合，而被动放电的时间为放电车辆准备输出的 $1min$ 内，是满足 GB/T 27930 通信时间（充电桩 CR0 报文的准备就绪的超时时间为 $60s$ ）要求和 GB/T 18488 被动放电时间（放电放至 $60V$ 所经过的时间不应大于 $5min$ ）要求的。

3.2.3 实例 3

实例 1 和实例 2 两种直流 V2V 方案，虽然可以实现车辆直接的能量传递，但是只能在当放电车辆电压高于充电车辆电压的场景下使用，而实际使用过程中存在很多场景也

需要低电压车辆给高电压车辆放电，为此实例3的设计应运而生。

实例3在放电车辆动力电池脱开后，利用增程器进行空载调压将放电车辆的电压抬升到充电车辆电压平台后，利用增程器执行正常的放电流程。或者在电池脱开后，同样利用增程器向下空载调压，达到预定的目标电压后，进行对外放电。

步骤1：放电车辆收到充电车辆准备就绪状态后，VCU启动增程器，使增程器进入怠速不发电模式，并禁用高压附件工作。

步骤2：高压附件停机后，当母线电流降低至5A以下时，VCU控制GCU关闭IGBT。

步骤3：为保证后续增程器单独给放电车辆放电，需断开动力蓄电池，为此VCU控制GCU关闭IGBT后，BMS断开主负Kn和主正接触器Kp，实现高压下电操作。

步骤4：VCU控制GCU进入V2V模式并发送调压目标值，GCU进行空载调压至目标值。GCU调压完成后，放电车辆BMS闭合快充接触器K5和K6，充电车辆电源接入放电车辆高压回路。

步骤5：同实例1的步骤4和步骤5。

4 结论

本文给出了3种V2V放电的控制方案，解决了放电车辆和充电车辆电压不匹配无法直接放电的难题。特别是第3种放电实例，在整车硬件不发生变化的情况下，利用增程器空载向上或向下调压的方式实现直流V2V技术，极易被推广和应用。另外，以上放电方案使用的车桩通信协议不仅限于GB/T 27930-2015及其升级标准，还适用于“ChaoJi”或“2015+”大功率充电标准，具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 办公厅.(2021).新能源汽车产业发展规划(2021~2035年).
- [2] GB/T 27930-2023.非车载传导式充电机与电动汽车之间的通信协议[S].北京:中国标准出版社,2023.
- [3] GB/T 18488-2024.电动汽车用驱动电机系统[S].北京:中国标准出版社,2024.
- [4] 高大威.汽车电力电子学[M].北京:清华大学出版社,2018.
- [5] 邱关源.电路[M].5版.北京:高等教育出版社,2006.
- [6] 程夕明,张承宁.新能源汽车功统电子基础[M].北京:机械工业出版社,2018.