

V2X 双向充电机在微电网中的控制策略

毛宇阳, 杨志

(万帮数字能源股份有限公司, 江苏 常州 213000)

摘要: 针对微电网中 V2X 技术的运用, 本文介绍了双向充电机运行在不同模式下的控制策略。并网充电时 AC/DC 控制母线电压、DC/DC 控制充电功率。并网放电时选择方案一 AC/DC 采用 PQ 控制放电功率、DC/DC 控制母线电压。离网时 AC/DC 采用 V/F 控制提供电压源基准、DC/DC 控制母线电压。在此基础上提出了一种适合于不同模式间切换的统一控制模型及实施方法, 保证了模式间的平滑切换。

关键词: V2X; 微电网; 平滑切换

Control strategy of V2X bidirectional charger in micro-grid

MAO Yuyang, YANG Zhi

(Wanbang Digital Energy Co., Ltd., Changzhou 213000, China)

Abstract: For the application of V2X technology in micro-grid, the control strategy of bidirectional charger operating in different modes is introduced in this paper. In grid-connected charging mode, AC/DC controls the bus voltage and DC/DC controls charging power. In grid-connected discharging mode the first option is chosen, AC/DC controls the discharge power with PQ control, and DC/DC controls the bus voltage. In off-grid mode, AC/DC provides voltage source reference with V/F control, and DC/DC controls the bus voltage also. In addition, a unified control mode and the implementation method for switching between different modes is proposed, the seamless switching purpose can be realized.

Key words: V2X; micro-grid; seamless switching

0 引言

随着电动汽车技术的不断完善与发展, 电动汽车的保有量逐渐增大, 其对电网的影响日益显现^[1-3]。微电网由分布式发电、储能、负载等部分组成, 是一种可以运行在并网模式和离网模式的小型配电网系统。目前通用的充电桩仅能实现电能的单向流动, 随着双向充电机(V2X)技术的提出, 电动汽车动力电池不仅可从电网补充电能, 还可在用电高峰期将电池能量注入电网, 实现电能回馈电网(V2G)^[4]; 当主电网出现故障时, 微网需要立即与外电网解列, 此时双向充电机可以为负荷提供电压支撑(V2L)。因此, 电动车动力电池可等效于移动式储能单元, 是微电网中新型且重要组成部分。

目前, 很多文献研究了双向充电机的控制策略和储能微网中并/离网控制策略, 然而电动汽车运用于微网的控制策略较少。文献[5]介绍了基于 V2G 的两级式变换器的设计及控制; 文献[6]研究了车载双向充电机的实现; 文献[7-8]介绍储能在并网模式

下采用有功功率-无功功率(PQ)控制, 离网时采用下垂控制, 通过增加下垂额定点调节环的投切实现并/离网模式的平滑切换; 文献[9]提出储能在并网模式下控制成电流源形式, 离网模式下主电源采取恒压恒频(V/F)控制, 其他电压依然运行与电流源模式; 文献[10-11]提出并离网时均采用下垂控制, 模式切换过程中避免了控制环路改变。

本文首先介绍了常见的 V2X 双向充电机的拓扑结构, 并分别介绍了不同模式下的控制环路, 在此基础上提出了一种适合于不同模式间切换的统一控制模型及实施方法, 保证了模式间的平滑切换。

1 电路拓扑

如图 1 所示为常见单相 V2X 充电机的功率拓扑, 一般使用两级结构。前级 AC/DC 为图腾柱双向 PFC, 其中 S1、S2 快管工作于高速 PWM 模式, 通常使用 SiC 型 MOS 管; S3、S4 慢管工作于电网频率, 通常使用普通 MOS 管。后级为隔离型双向 DC/DC, 一般使用 CLLC 或 DAB 拓扑, 尽量使 MOS

管工作于 ZVS 模式以提高效率。

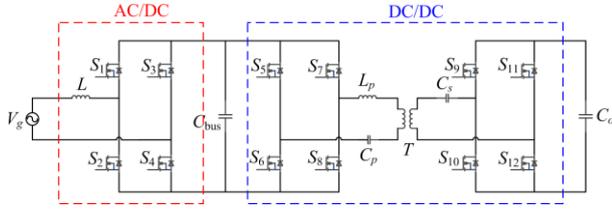


图 1 双向充电机拓扑结构

Fig. 1 Topology structure of bidirectional charger

2 控制策略

并网充电时，双向充电机接收 BMS 指令对电池进行充电，此时电动车作为负载；并网放电时，双向充电机可接收调度指令或智能判断对电网输出功率；离网运行时，双向充电机可为微电网提供电压和频率支撑。

2.1 并网充电时控制策略

并网充电模式下，AC/DC 控制母线电压，DC/DC 控制充电功率。

AC/DC 控制框图如图 2 所示，单相充电机母线电压含有电网频率的两倍频波动，将实时母线电压 V_{bus} 经过陷波器，滤除交流分量后与母线电压给定 V_{bus}^* 的误差经过 PI 控制器得到有功电流幅值给定 I_d^* ， I_d^* 乘以电网电压锁相环输出角度 $\cos \theta_g$ 得到实时电流给定 I_{ac}^* ， I_{ac}^* 与实时电流 I_{ac} 的误差经过 PI 调节器、比例谐振 PR 控制器后得到电流环路输出 I_{loop_out} ， I_{loop_out} 加上电网电压前馈得到最终调制信号 V_{ac_pwm} 。

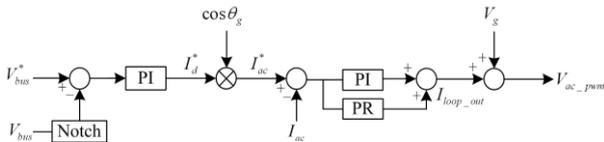


图 2 并网充电时 AC/DC 控制框图

Fig. 2 Control block diagram of AC/DC in grid-connected charging mode

DC/DC 控制框图如图 3 所示， V_{bat_ref} 、 I_{bat_ref} 为接收 BMS 发出的最大充电电压和最大充电电流命令， V_{bat_ref} 与电池电压 V_{bat} 的误差经过 PI 控制器后进行限幅处理得到充电电流给定 I_{bat}^* ，其中限幅值为 I_{bat_ref} ； I_{bat}^* 与实际充电电流 I_{bat} 的误差经过 PI 控制器后得到调制信息 T_{pwm} (开关频率 f 或占空比 D)。充电初期电压外环输出饱和，充电机工作于恒

流充电模式。

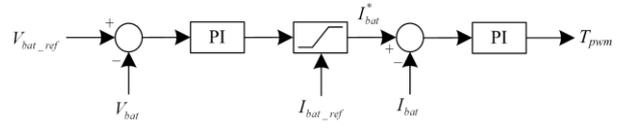


图 3 并网充电时 DC/DC 控制框图

Fig. 3 Control block diagram of DC/DC in grid-connected charging mode

2.2 并网放电时控制策略

方案一：AC/DC 采用 PQ 控制放电功率，DC/DC 控制母线电压。

AC/DC 控制框图如图 4 所示，由有功功率给定 P^* 得到有功电流幅值给定 I_d^* 、无功功率给定 Q^* 得到无功电流幅值给定 I_q^* ，进一步可得到实时电流给定 I_{ac}^* ，后面电流环控制与充电模式相同。

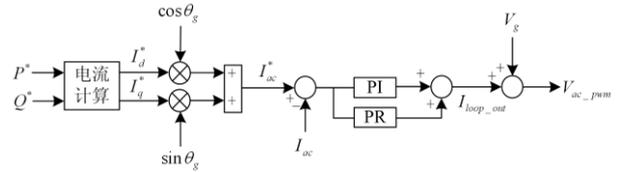


图 4 并网放电方案一 AC/DC 控制框图

Fig. 4 Control block diagram of the first option AC/DC in grid-connected discharging mode

DC/DC 控制框图如图 5 所示， I_{bat_ref} 为接收 BMS 发出的最大放电电流命令，母线电压外环输出经过限幅处理后得到放电电流给定 I_{bat}^* ，电流环路输出得到相应调制信息 T_{pwm} 。放电时 I_{bat_ref} 、 I_{bat}^* 均为负值。

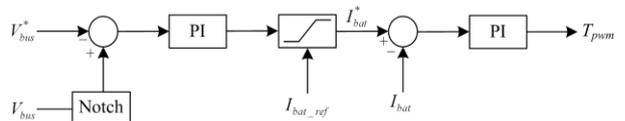


图 5 并网放电方案一 DC/DC 控制框图

Fig. 5 Control block diagram of the first option DC/DC in grid-connected discharging mode

方案二：AC/DC 控制母线电压，DC/DC 控制放电功率。

AC/DC 控制框图如图 6 所示，母线电压外环输出得到有功电流幅值给定 I_d^* ，无功功率给定 Q^* 得到无功电流幅值给定 I_q^* ，进一步可得到实时电流给定 I_{ac}^* ，后面电流环控制与充电时相同。

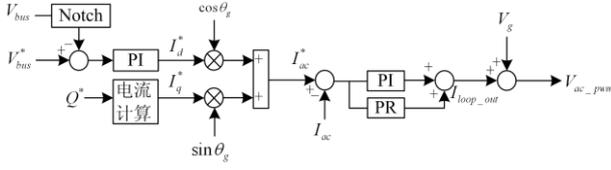


图 6 并网放电方案二 AC/DC 控制框图

Fig. 6 Control block diagram of the second option AC/DC in grid-connected discharging mode

DC/DC 控制框图如图 7 所示, 有功功率外环输出经过限幅处理后得到放电电流给定 I_{bat}^* , 电流环输出得到相应调制信息 T_{pwm} 。

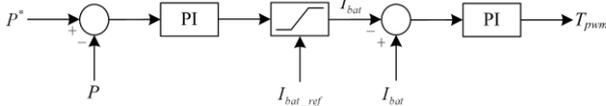


图 7 并网放电方案二 DC/DC 控制框图

Fig. 7 Control block diagram of the second option DC/DC in grid-connected discharging mode

3.3 离网时控制策略

离网模式下, AC/DC 采用 V/F 控制提供电压源基准, DC/DC 控制母线电压。

AC/DC 控制框图如图 8 所示, 电压有效值给定 V_{rms}^* 与频率给定 ω^* 得到实时电压给定 V_{ac}^* , V_{ac}^* 与实时电压 V_{ac} 的误差加上重复控制, 通过 PI 控制器后得到最终调制信号 V_{ac_pwm} 。

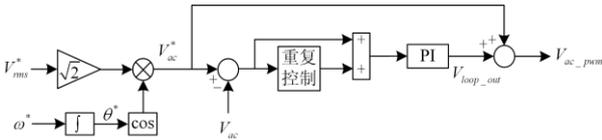


图 8 离网时 AC/DC 控制框图

Fig. 8 Control block diagram of AC/DC in off-grid mode

DC/DC 控制框图与并网放电的方式一相同, 如图 5 所示。

3 模式间切换策略

由于不同模式下的控制环路不同, 为了避免模式切换时引起的控制量突变问题, 本章节介绍模式切换时的统一控制策略。设定并网充电为模式 1, 并网放电为模式 2, 离网运行为模式 3。

3.1 AC/DC 统一控制策略

AC/DC 控制框图如图 9 所示, 并网放电时采用前述方案一控制放电功率。

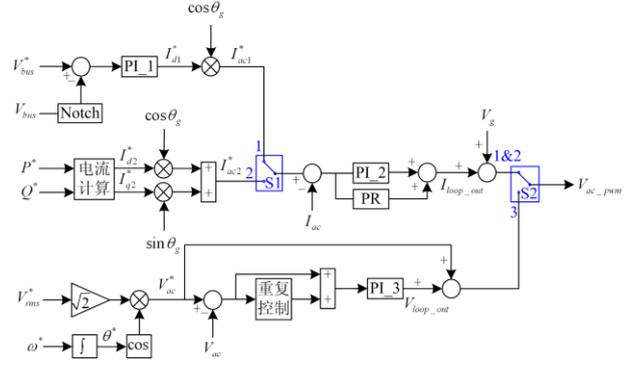


图 9 AC/DC 统一控制框图

Fig. 9 Unified control block diagram of AC/DC

初始工作于模式 1 时, 开关 S1 置于状态 1, 开关 S2 置于状态 1&2。模式 1 切换至模式 2 时, S1 由状态 1 切换至状态 2, S2 保持不变, I_{d2}^* 由 I_{d1}^* 渐变至目标值, I_{q2}^* 由 0 渐变至目标值, 在 S1 切换瞬间 I_{ac}^* 与 I_{ac1}^* 相等, 保证平滑切换; 模式 1 切换至模式 3 时, S1 保持不变, S2 由状态 1&2 切换至状态 3, 若切换前一时间点电网电压有效值、频率和相位角分别为 V_{rms_g} 、 ω_g 、 θ_g , 则 V_{rms}^* 由 V_{rms_g} 渐变至目标值, ω^* 由 ω_g 渐变至目标值, θ^* 在 θ_g 基础上进行累加, 另外将模式 1 电流环输出 I_{loop_out} 直接赋值给 PI_3 控制器的积分量, 在 S2 切换瞬间 V_{ac}^* 与 V_g 相等、 I_{loop_out} 与 V_{loop_out} 相等, 保证平滑切换。

初始工作于模式 2 时, 开关 S1 置于状态 2, 开关 S2 置于状态 1&2。模式 2 切换至模式 1 时, S1 由状态 2 切换至状态 1, S2 保持不变, I_{d1}^* 由 I_{d2}^* 渐变至目标值, I_{q2}^* 渐变至 0, 在 S1 切换瞬间 I_{ac1}^* 与 I_{ac2}^* 相等, 保证平滑切换; 模式 2 切换至模式 3 时, 处理方式与模式 1 切换至模式 3 类似。

初始工作于模式 3 时, 开关 S2 置于状态 3。模式 3 切换至模式 1 之前, 先将 V_{rms}^* 渐变至 V_{rms_g} , ω^* 渐变至 ω_g , θ^* 渐变至 θ_g , 当 V_{ac}^* 与 V_g 同步时, 闭合并网处开关, S2 由状态 3 切换至状态 1&2, 同时将 V_{loop_out} 直接赋值给 PI_2 控制器的积分量, 保证平滑切换; 模式 3 切换至模式 2 时, 处理方式与模式 3 切换至模式 1 类似。

3.2 DC/DC 统一控制策略

DC/DC 控制框图如图 10 所示, 并网放电和离网运行时均控制母线电压。

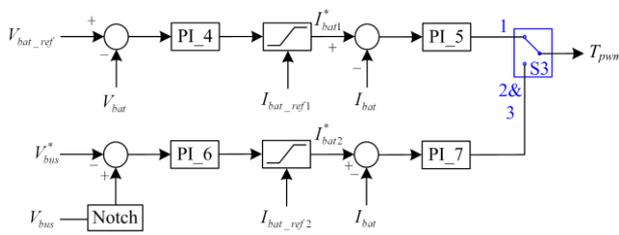


图 10 DC/DC 统一控制框图

Fig. 10 Unified control block diagram of DC/DC

初始工作于模式 1 时，开关 S3 置于状态 1。当切换至模式 2 或模式 3 时，S3 由状态 1 切换至状态 2&3，将 I_{bat1}^* 赋值给 I_{bat2}^* 、PI_4 控制器输出赋值给 PI_6 控制器的积分量、PI_5 控制器输出赋值给 PI_7 控制器的积分量，保证平滑切换。

初始工作于模式 2 或模式 3 时，开关 S3 置于状态 2&3。当切换至模式 1 时，S3 由状态 2&3 切换至状态 1，将 I_{bat2}^* 赋值给 I_{bat1}^* 、PI_6 控制器输出赋值给 PI_4 控制器的积分量、PI_7 控制器输出赋值给 PI_5 控制器的积分量，保证平滑切换。

4 结论

本文针对微电网与电动汽车的结合，介绍了 V2X 双向充电机在不同模式下可采用的控制策略，并在此基础上提出了一种适合于不同模式间切换的统一控制模型及实施方法，保证了模式间的平滑切换，为电动汽车作为移动式储能在微电网下的运用提供了借鉴。

参考文献

- [1] 缪立新, 王发平. V2X 车联网关键技术研究及应用综述[J]. 汽车工程学报, 2020, 10(1): 1-11.
MIAO Lixin, WANG Faping. Review on research and applications of V2X key technologies[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2020, 10(1): 1-11.
- [2] 刘郑, 孙志峰, 蒋燕, 等. 微网下基于 V2G 的电动汽车并网研究[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(7): 1713-1718.
LIU Zheng, SUN Zhifeng, JIANG Yan, et al. Strategy of electric vehicle access to grid based on V2G[J]. Computer & Digital Engineering, 2019, 47(7): 1713-1718.
- [3] 程杉, 陈梓铭, 徐康仪, 等. 基于合作博弈与动态分时电价的电动汽车有序充放电方法[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(21): 15-21.
CHENG Shan, CHEN Ziming, XU Kangyi, et al. An orderly charging and discharging method for electric vehicles based on a cooperative game and dynamic time-of-use price[J]. Power System Protection and

- Control, 2020, 48(21): 15-21.
- [4] 张宁, 刘晓波, 黄少华, 等. 考虑电网-用户多目标的 V2G 模式研究[J]. 电力科学与工程, 2020, 36(4): 32-37.
ZHANG Ning, LIU Xiaobo, HUANG Shaohua, et al. Research on V2G model considering grid-user multi-objective[J]. Electric Power Science and Engineering, 2020, 36(4): 32-37.
- [5] 荆磊. 基于 V2G 的两级式双向 AC/DC 变换器的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
JING Lei. Research on two-stage bidirectional AC/DC converter based on V2G[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [6] 王慧馨. 用于车载充电机的双向 DC/DC 谐振变换器的研究与设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
WANG Huixin. Design and research of bidirectional DC/DC resonate converter applied to on-board charger[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [7] 张纯, 陈民铀, 王振存. 微电网运行模式平滑切换的控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 1-5.
ZHANG Chun, CHEN Minyou, WANG Zhencun. Study on control scheme for smooth transition of micro-grid operation modes[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 1-5.
- [8] CHEN Chienliang, WANG Yubin, LAI Jisheng. Design of parallel inverter for smooth mode transfer micogrid application[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 25(1): 6-15.
- [9] CHO C, JEON J H, KIM J Y, et al. Active synchronizing control of a microgrid[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, 26(12): 3707-3719.
- [10] BALAGUER I J, LEI Q, YANG S, et al. Control for grid-connected and intentional islanding operations of distributed power generation[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(1): 153-157.
- [11] ARAFAT M N, ELRAYYAH A, SOZER Y. An effective smooth transition control strategy using droop based synchronization for parallel inverters[J]. IEEE Transactions on Industrial Application, 2014, 51(3): 2443-2454.

收稿日期: 2020-12-28

作者简介:

毛宇阳(1987—), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 主要从事电动汽车充放电方面的研究; E-mail: yuyang.mao@wanbangauto.com

杨志(1974—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事电动汽车充放电、电能质量治理方面的研究。E-mail: zhi.yang@wanbangauto.com