

高效节能动力锂电池检测及化成系统

随着电池工业的迅速发展,国内外主要的电池厂家都投入大量资金和研发人员在原有小容量电池基础上开发大容量高能量密度动力型电池。锂电池由于工作电压高、体积小、质量轻、无记忆效应、无污染、自放电小、循环寿命长等特点,广泛应用于电动车汽车能源系统、航空航天电源系统、太阳能光伏电源系统等设备中。蓄电池的检测及化成作为电池生产、使用过程中的关键工序关系到电池的品质和质量,并直接影响电池的生产成本和使用寿命。

一、系统结构

系统的整体结构如图 1 所示。

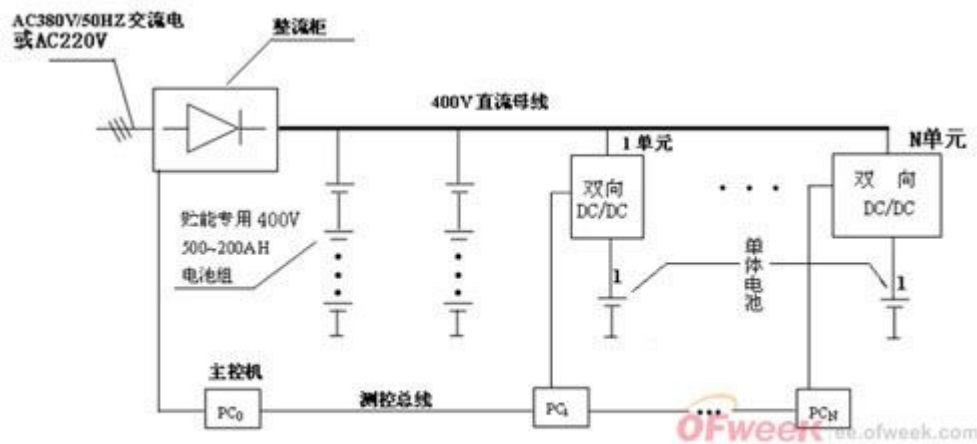


图 1 系统的整体结构。

整个系统主要由四部分组成：整流柜、储能电池组、化成模块（双向 DC/DC）、集中式计算机控制系统组成。

① 整流柜

主要用于储能电池组的初充和日常的补充充电。

② 储能电池组

用于平衡各化成单元之间充/放电过程对 400V 直流母线造成的冲击（类似于水池的作用）可由成本较低的或不同型号的电池组成。

③ 化成模块（双向 DC/DC）

在电池单元充电时以单元取直流母线电源用于充电。放电时 DC/DC 换能器将单体电池的能量转换成高于 400V 的能量，通过母线给储能电池组充电。DC/DC

单元为最新型的高频高效模块，效率为 94~96%，可节省放电过程造成的电能损失节能约 90~93%。

④集中式计算机控制系统

PC1 至 PCN 用于各化成/检测工作的操作控制及数据采集。PC0 是主控机(可以是几台)用于对整个生产车间的管理,对各工作之间的工况转换实行模糊控制,保证整个生产流程顺畅,并作数据处理的保存、备案。

1. 工作说明:

单只电池充电时由电网提供能量,经整流柜和化成模块(双向 DC/DC)为电池进行恒流充电;放电时将电池的能量经化成模块(双向 DC/DC)对储能电池组进行放电

系统更重要的优势在于多只电池同时进行化成,其中部分电池充电,部分电池放电。为此设计了一条直流母线,用于连接整流柜和多个化成模块(双向 DC/DC)。这样能量就可以通过直流母线在不同电池单体之间流动,避免每个放电模块单独设计回馈能量的电路,可提高整个设备的效率,同时降低设备成本。此外,在控制系统的控制下,采用能量平衡的控制策略,通过控制不同充放电模块的工作时间,尽可能使充电能量等于放电能量,大部分能量只在直流母线和单体电池之间流动不经过电网,整流柜从电网转化的能量和储能电池组贮存的能量来平衡充放电的能量差,可进一步提高效率。

直流母线的电压选定为 400V,主要目的高电压直流母线设计对于化成模块(双向 DC/DC)同时并联在直流母线上很重要,直流母线电压越高线路损耗越小,但也不宜太高,否则会带来选择电力电子器件的困难和双向 DC/DC 压比或降压比太大的问题。

集中式计算机控制系统设计主要是针对电池化成工艺要求,在电池化成过程中需要利用少量人员监控大量的化成电池,为提高效率和降低劳动强度必须采用集中式的管理和监控。在电池化成中电池充电或放电量数据非常关键,是鉴别电池好坏和电池分组筛选的依据,必须通过计算机系统建立数据库来存储这些数据。

控制系统和化成模块(双向 DC/DC)以及整流柜之间采用 CAN 通信网络。目前,CAN 网络得到广泛的应用。

二、整流柜设计

采用主流的 LLC 谐振软开关整流器电路,充电效率大于 96%。输入总谐波畸变小于 5%。整流柜的作用是补充电池化成过程中的电量损耗。当放电能量大于充电能量时,母线电压会升高,母线会对储能电池组进行充电。当充电能量大于放电能量时,母线电压会降低,整流器吸收电网能量以维持母线电压稳定。其拓扑结构如图 2 所示。

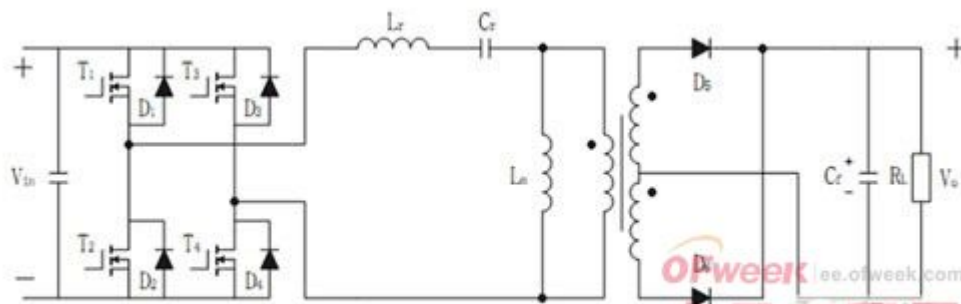


图 2 整流柜拓扑简图

其拓扑为 LLC 谐振全桥 V_{in} 为交流电整流(三相无源 PFC)或经 PFC(功率因数校正)后电压

T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 为 MOSFET L_r 为谐振电感 C_r 为谐振电容 D_5 、 D_6 为高频整流二极管 C_f 为滤波电容。

三、化成模块(双向 DC/DC)

结构如图 3 所示。包括双向 DC/DC 模块。第一级采用隔离式半桥变换结构，利用变压器对高压侧与低压侧进行隔离，开关管 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 采用固定脉冲控制，实现从 400V 母线电压和 15V 中间电压进行变换，第二级采用非隔离式 Buckboost 变换器构成，开关管 V_5 、 V_6 采用闭环控制，实现 15V 中间电压和 3V 锂电池电压之间进行二次变换。

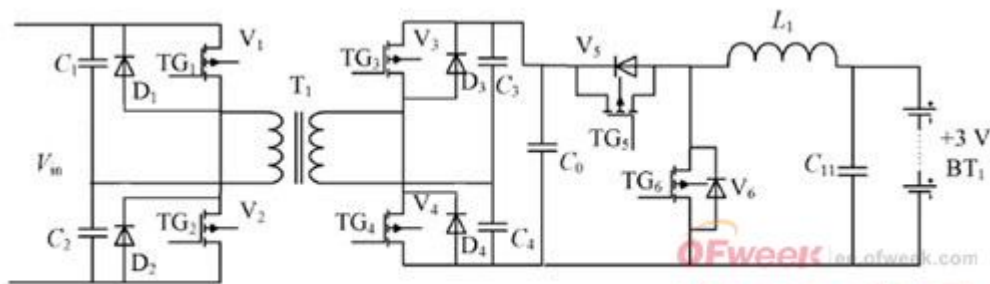


图 3 化成模块(双向 DC/DC)

1. 升压工作模式

电池侧 3V 电压，经 C_{11} 滤波后，送至由 V_6 、 V_5 、 L_1 、 C_0 构成 BOOST 升压变换器，BOOST 变换器将电压从 3V 升至 15V，调节送到 TG_6 的脉冲占空比，可以实现调节输出电压；由第一级变换器升压至 15V 的电压经 C_3 、 C_4 分压，送至半桥变换器，给固定脉冲至 TG_3 和 TG_4 ，使开关管 V_3 、 V_4 工作在开关状态，经变压器升压至 200V，由 D_1 、 D_2 以及 C_1 、 C_2 构成全波倍压整流电路，将输出电压稳定在 400V。

升压变换时输入电压与输出电压关系式：

$$V_{o400} = \frac{N_2}{N_1} \times V_b \times \frac{1}{D}$$

式中：N1 变压器高压侧匝数；N2 变压器低压侧匝数；Vb 电池电压；D2 开关管 V6 的输入脉冲占空比。

2. 降压工作模式

母线侧输入电压 400V，经 C1 和 C2 分压，上下桥臂输入电压为 200V。控制器将固定脉冲送至 TG1 和 TG2，使开关管 V1，V2 工作在开关状态。由 D3、D4 构成全波整流电路，经 C0 滤波，使电压从 400V 降至 24V；闭环控制器输出 PWM 信号，送至开关管 V5，使 V5、D6、L1、C11 构成 BUCK 降压变换器，将电压从 24V 降至 3V。调节输入开关管 V5 的驱动波形占空比，可以调节输出电压。降压变换时输入电压与输出电压关系式：

$$V_{out3} = \frac{N_1}{N_2} \times \frac{V_{400}}{2} \times D_1$$

式中：N1 变压器高压侧匝数，N2 变压器低压侧匝数，V400 高压侧输入电压，D1 开关管 V5 的输入脉冲占空比。

3. 化成模块(双向 DC/DC)控制策略

为了完成对锂电池的管理与监控，本设计的双向 DC/DC 变换器以 MCU 为核心控制器件。对各个开关管的控制、锂电池电流、电压，温度测量、上位机通信、电量计量等功能，硬件结构如图 4 所示。

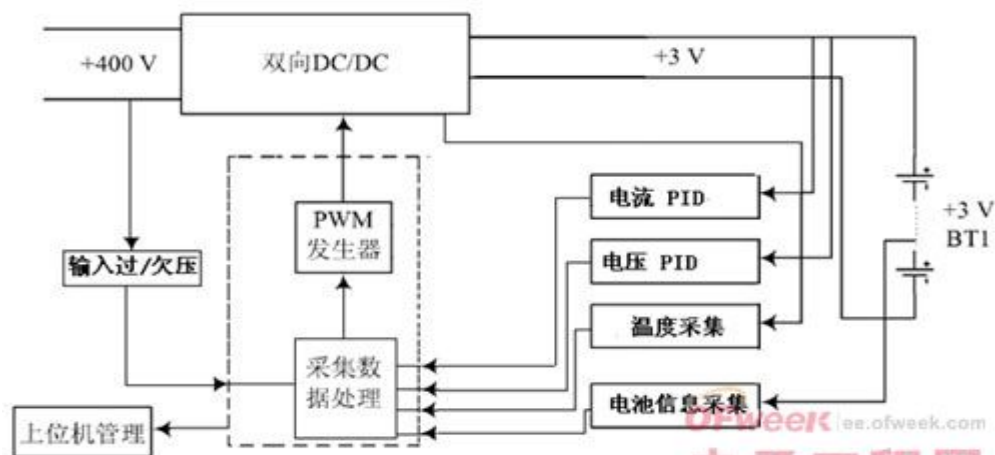


图 4 硬件结构图。

控制电路采用电流闭环和电压限定控制方法,利用高精度霍尔电流传感器测量电池充电电流,与电流给定信号(CPU系统给出)一起经电流PI调节器和驱动电路,控制开关管导通与关断。由于PI调节器可以实现无差调节,从而实现电池充电电流的恒定。为防止锂电池充电可能出现的过充影响电池的性能,控制电路加入了电压限制环节,使得电压达到限制电压时减小充电电流。

四、集中式计算机控制系统

为了实现上位机与化成通道的实时通讯,两者通过CAN总线进行通信。

上位机采用了PC机,并配置了一块ISA结构的双端口CAN接口卡。选用PC机,有如下好处:PC机上面有多条扩展槽,利用局域网络通讯卡,使得该系统很容易与其他生产管理部门联网,便于统一调度和管理。另外,选用PC机还可以充分利用现有的软件工具和开发环境,方便快捷地设计功能丰富的软件。上位机的作用是:(1)将需要的各种参数发送给化成通道;(2)对化的工作过程进行干预;(3)接收化成通道发回的工作状态数据;(4)如果工艺流程改变,把改变后的流程下载到化成通道;(5)实时显示化成曲线等。

五、结论

按本方案设计交付使用的电池化成系统,充放电电流100A,系统工作稳定,充电时整机效率92%,放电时整机效率90%。循环效率82.8%。按照常规的化成系统计算,充电效率为80%。放电为直接功率电阻耗能0%。综合效率为-125%。本系统比传统的化成系统节能727%。实际工作中释放的热量很少,大大的降低了车间的温度,改善了作业环境。并为企业节省了能源开支。整个化成过程中,可以做到对充放电电流、电池电压、电池内阻、电池温度、环境温度、充电/放电时间进行实时监控和自动控制,并可以绘制电流/电压的实时曲线和每节电池的柱状图等。由于本系统采用了软件集中式管理,大大降低了员工的作业强度,提高了对锂电池化成的效率。