

新一代新能源双向电源 AC → DC → Buck Boost → AC 系统省略 DC 整流部份 (同步整流) 专利评估

冷鹏浩

长沙理工大学城南学院, 湖南 长沙 410004

摘要: 实现碳中和是关中华民族持续发展和构建人类命运共同体。大力发展新能源电池储能目的是把风电, 水电和光伏能源储存起来。新一代新能源双向电源 (AC → DC → Buck Boost → AC), 是电池与风电、水电、光伏互相输送电网的桥梁载体, 相互感知电池的精准电压与精准电流的需求数据。新一代新能源双向电源 (AC → DC → Buck Boost → AC) 是电池新能源重复利用诞生的一种商品, 能给新能源电池充电与放电, 充电用电网经新一代新能源双向电源给电池充电、放电时用新一代新能源双向电源给新能源电池放电能量回馈电网, 效率比新能源双向电源高 5% 至 8%, 全球每年省 100 万吨标准煤。大力推荐新一代新能源双向电源, 实现碳中和。

关键词: 新能源电池储能; 新一代新能源双向电源; 回馈电网; 系统省略 DC 整流部份回馈电

Patent Evaluation of Omitting DC Rectifier (Synchronous Rectifier) in AC → DC → Buck Boost → AC System, a New Generation of New Energy Bidirectional Power Supply

Leng, Penghao

Chengnan College, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan, 410004, China

Abstract: Realizing carbon neutrality is related to the sustainable development of the Chinese nation and the construction of a community of human destiny. The purpose of vigorously developing new energy battery energy storage is to store wind power, hydropower and photovoltaic energy. A new generation of new energy bi-directional power supply (AC→DC→Buck Boost→AC) is a bridge carrier for the battery, wind power, hydropower and photovoltaic to mutually transport the power grid, and mutually sense the demand data of accurate voltage and accurate current of the battery. A new generation of new energy bi-directional power supply (AC→DC→Buck Boost→AC) is a commodity born from the new energy reuse of batteries, which can charge and discharge new energy batteries. The charging power grid uses the new generation of new energy bi-directional power supply to charge and discharge new energy batteries, and the efficiency is 5% to 8% higher than that of new energy bi-directional power supply, saving 1 million tons of standard coal worldwide every year. We strongly recommend a new generation of new energy bidirectional power supply to achieve carbon neutrality.

Keywords: New energy battery energy storage; A new generation of new energy bidirectional power supply; Give back to the power grid; The system omits the DC rectification part to feed back the electricity

DOI: 10.62639/sspis11.20250203

碳中和目标与新能源动力汽车建设双重驱动下, 2024 年全球新能源动力汽车销量约 17000 万辆, 每台新能源电动汽车电池容量约 70KW, 全球新能源电动汽车总电池容量约 119GW。我们集团 (联智) 决定开设计开发新一代新能源双向电源 (AC → DC → Buck Boost → AC) 系统省略 DC 整流部份 (同步整流) 管理核心系统参考文献^[12]。隔离型双向电源省略 DC 整部份采用 PID 管理办法, 参考文献变换器分析方法与控制技术参考文献^[11]。双向 LLC 高功率密度谐振参考文献^[10]全桥 LLC ZVS 移相全桥参考文献^[9]。新一代新能源双向电源 Buck Boost 充电与放电参考文献^{[7],[6]}。新一代 DC/DC 软开关参考文献^[5]。新一代新能源双向电源给电池充管理系统参考文献^[4]。新一代新能源双向电源漏电系统参考文献^[2]。LLC 带饱和电感的移相全桥零电压开

关 PWM 参考文献^[1], 新动力电池回馈电网就用新一代新能源双向电源来 (AC → DC → Buck Boost → AC) 管更是系统参考文献^[2]。新一代新能源双向电源 (AC → DC → Buck Boost → AC) 系统省略 DC 整流部份 (同步整流) 专利评估电压环路控制与电流环控制方案参考文献^[7] 每年可省 1197GW*93% = 110.69GW 电, 相当于约 136.291 万吨标煤。每年少排放二氧化碳约 335 万吨。是要想阻止全球变暖, 要想避免气候变化的最坏影响, 人类需要停止向大气中排放温室气体。新一代新能源双向电源驱动让人类实现零排放的目标。

(稿件编号: IS-25-3-1020)

作者简介: 冷鹏浩 (2006-), 男, 汉湖南益阳人, 长沙理工大学城南学院。主要研究方向为新能源双向电源。

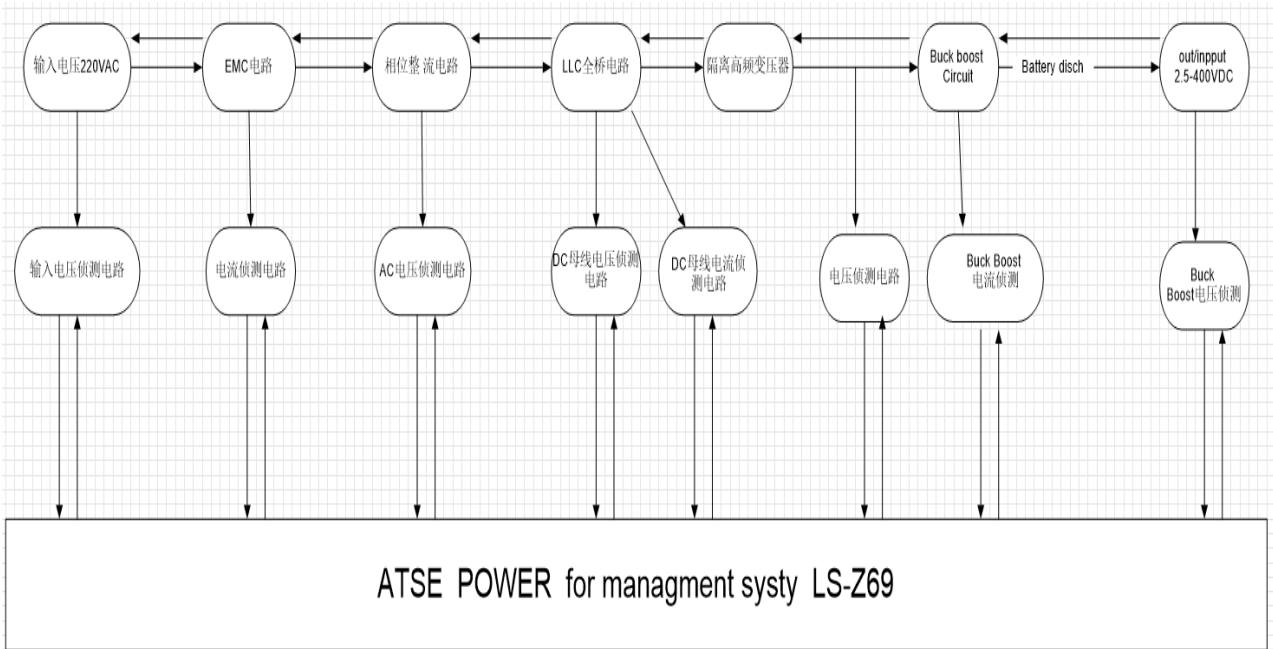


图 1 新一代新能源双向电源 AC → DC → Buck Boost → AC 架构图架构图

一、新一代新能源双向电源系统特性与建模

（一）新一代新能源双向电源特性

新一代新能源双向电源充电流程是输入电压 220VAC/50HZ (图 1),PF 值 0.999 效率 95 % , THDI<5 % (Total Harmonic Distortion of Current) , 没经 DC 整流 (同步整流) 经 Buck Boost 电路输出电压给电池充电电压根据电池电压标准能用数字化设定新能源电池充电电压上限值, 新能源电池充电电压可设定 0-400V 的范围。充电电压精度是 0.1 % V , 边充电边检测每节电池电压, 每节电池电压精度在 0.01 % V。Buck Boost 输出电流给新能源电池充电同样俱备数字化设给新能源电池恒流充电。恒流充电范围 0-400A , 电流精度 1 %。新一代新能源双向电源 (AC → DC → Buck Boos → AC) 核心管理系统是 DSP-LS-269 32 Bit 主频 96MHZCPU。电池放电怎样回馈电网呢? 电池放电回馈电网首先要设定回馈电网电压值与电流值, 回馈电网的能量先经 Buck Boost 电路, Buck Boost 能量没经 DC 整流流 (同步整流) 经 TR (图 2) 副边耦合到 LLC 全桥电路, LLC 全桥电路把能量转载给图腾柱 PFC, 图腾术 PFC 电路把能量回馈给电网, 回馈电网电压可依据实检测的电网电压来改变来调整输出电压, 输出电压 220V50HZ 正弦电压。回馈电压的 PFC 值是 1..THDI<4, 回馈电网效率是 93 %。新一代新能源双向电源电池充电与电池回馈电网是同一个电路架构路。新一代新源双向电源最大特点是放电与充电回路 都没有 DC 整流部份 (图 3) (同步整电路)。这就是我们需要保护没有 DC 整流 (同步整流) 架构的创创新新一代新能源双向电源 (AC → DC → Buck Boos → AC) 省略 DC 整流部份创新发明专利。

新一代新能源双向电源工作方式是移相变频 ZVS 工作模式, 怎样实现 ZVS 模式如图 2, 高频变压器设计是关主要器件之一, 设计变压器要满足这两个条件: 公式 1. $I_m = \frac{N V_o T_o}{L_m 4}$; 2. $L_m = \frac{I_o \cdot t_d}{16 C_{oss}}$ 高频变压器电感 L_m 不能太大, 因为 LLC 实现软开关条件是在死区时间内上下管都不能导通, 在死区时间内下管把结电容的电荷的电压泄放完, 从公式 1 知道 L_m 电感越大时, 电感电流 I_m 越小, 当在死区时间 (t_d) 下管的结电容电荷必须要放完。否则 LLC 电路很难实现 ZVS 工作模式。所以 L_m 不能选太大, 新一代新能源双向电源最大的闪光点是省略高频变压器 (TR) 副边 (S) 同步整流 (DC) 部份目的是碳中和。

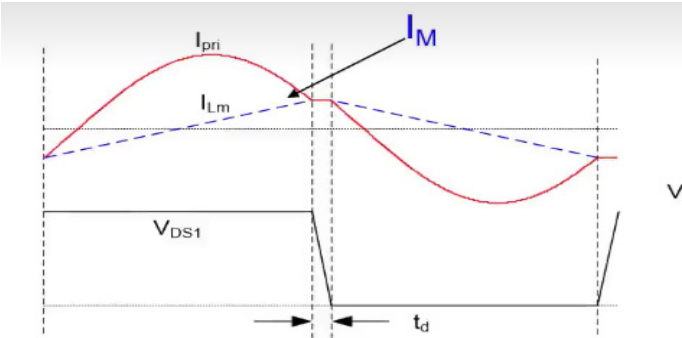
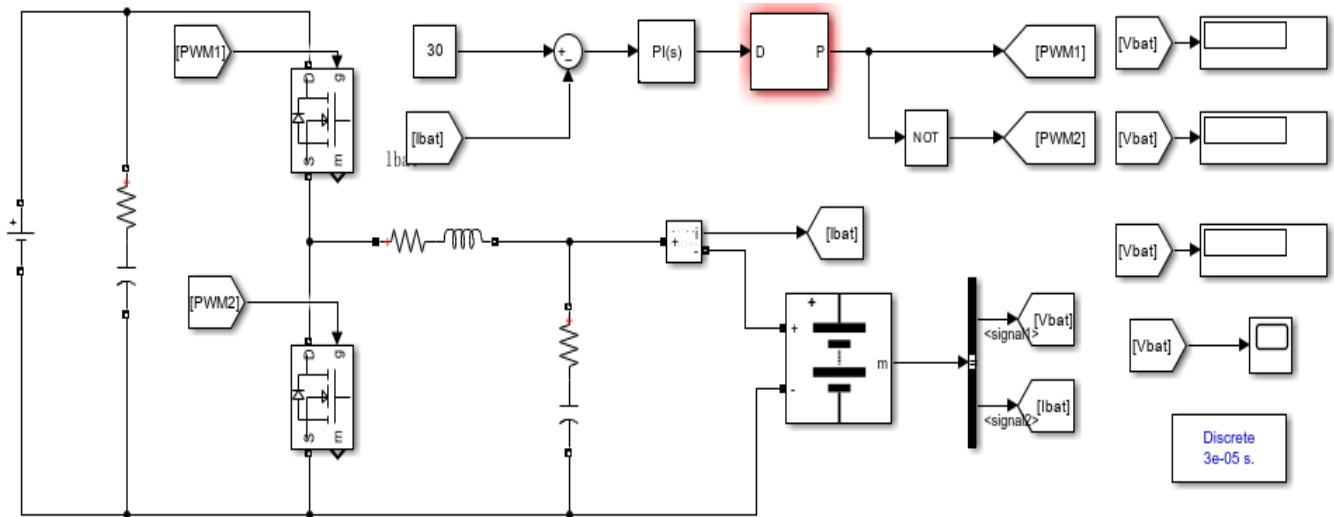


图 2 高频变压器电压死区时间图
(二) 新一代新能源双向电源系统的建模分析

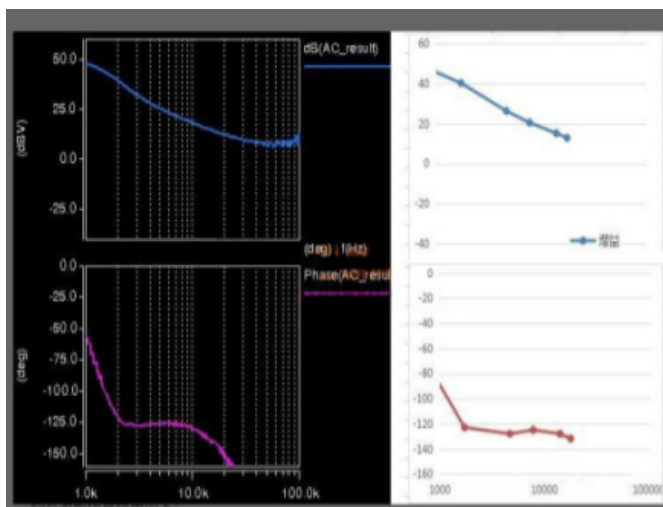
穿越频率的高低决定新一代新能源双向电源系统动态响应和稳定性。新一代新能源双向电源要求系统稳定而又快速。既可以满足系统的稳定性, 又能兼容系统的快速跟随性。如果穿越频率

向低频处靠, 那么可以提高系统的稳定性, 但是系统动态响应变差 (就是快速的跟随性能变差)。如果穿越频率向转折频率处靠, 快速跟随性能会变好, 但是系统的稳定性会变差。根据采样定理, 穿越频率必须 $< 1/2$ 开关频率, 但实际上穿越频率必须远小于开关频率的 $1/2$, 否则在输出中会有很大的开关纹波。什么是穿越频率?

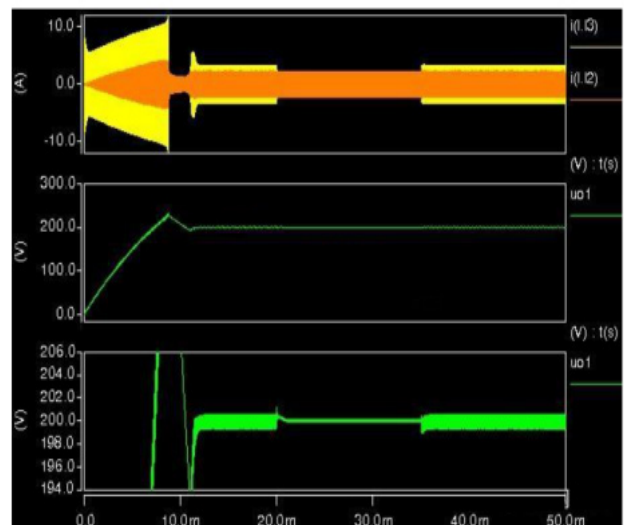
当输入信号频率发生变化时, 频率变化正好使电路增益为 1 (增益为 1, $20\log 1=0\text{dB}$, 即输入与输出信号幅值不变) 的时候。此点频率就是穿越频率 (也称为剪切频率或交越频率)。我们新一代能源双向电源开关频率为 100KHZ , 穿越频率约 20KHZ 。



新一代新能源双向电源系统 PID 模拟仿真图



新一代新能源双向电源控制系统环路小信号模型



新一代新能源双向电源系统环路穿越频率动态稳态

(三) 新一代新能源双向电源系统建模传递函数

位置式 PI

$$u(k) = K_p e(k) + K_i T_{\text{sam}} \sum_{n=1}^k e(i)$$

增量式 PI

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p \{e(k) - e(k-1)\} + K_i T_{\text{sam}} e(k)$$

位置式 PI 的 $u(k)$ 就是输出量可以直接进行 PWM 转换, 增量式 PI 的 $\Delta u(k)$ 要累加运算后再进行 PWM 转换。 $e(k)$ 是设定量与被控量之差,

$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ 可以看做是对 $e(k)$ 求导 (既 $e(k)'$ 的量化, 累加可以看做是积分运算的量化。

把增量式 PI 由量化变回连续如下:

$$\begin{aligned} u(k) &= \Delta u(k) = \int \Delta u(k) \\ &= \int (K_p * e(k)' + K_i * T_{\text{sam}} * e(k)) \\ &= K_p * e(k) + K_i * T_{\text{sam}} * \int e(k) \end{aligned}$$

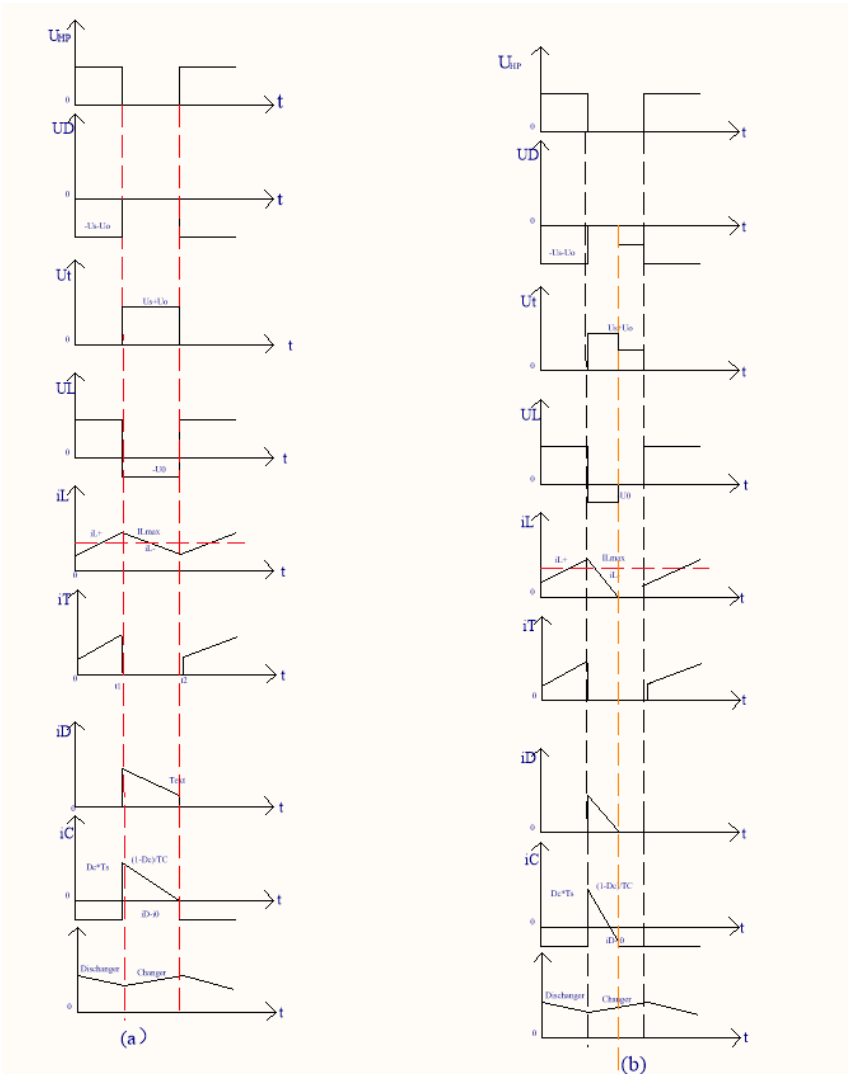
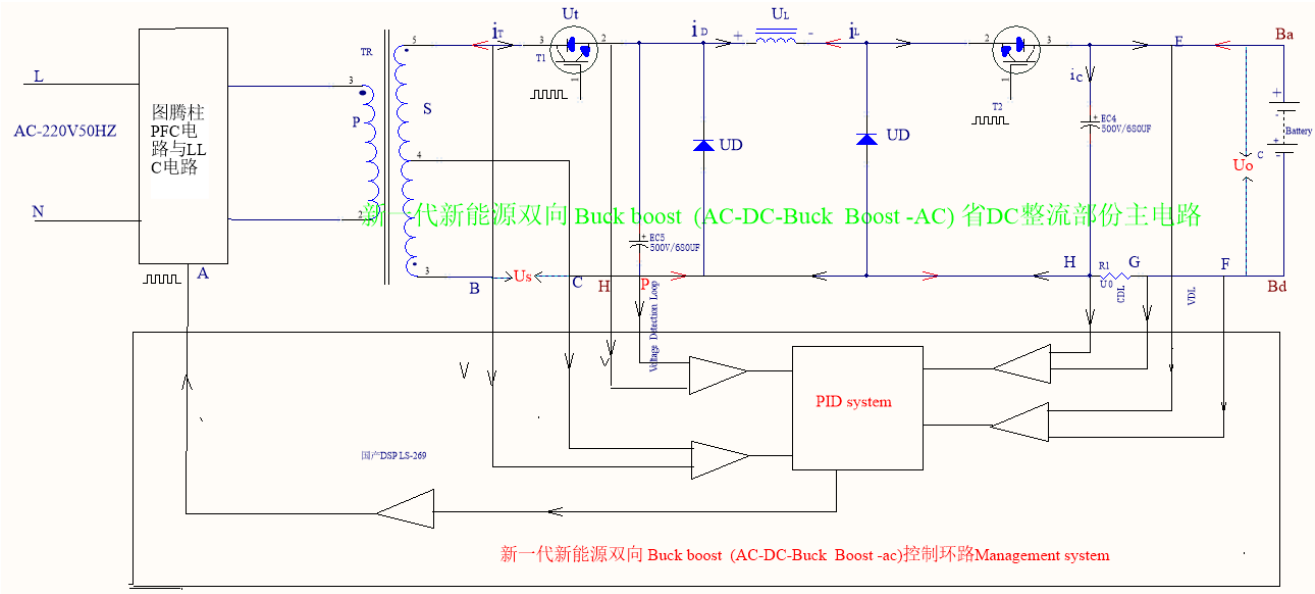
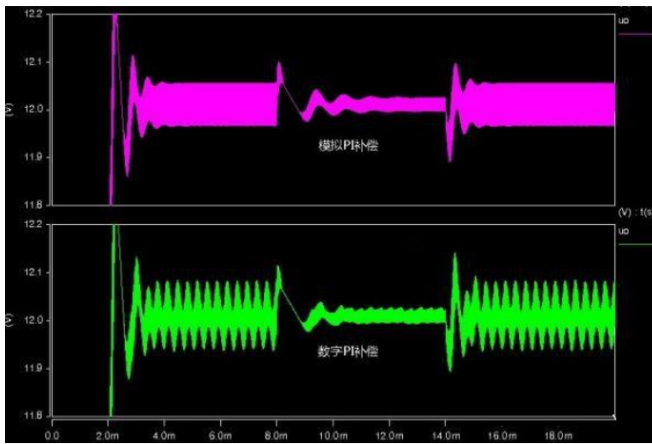


图 4 新一代新能源双向 Buck Boost 模拟仿真波形图



新一代新能源双向电源模拟补偿与数字补偿仿真波形

二、评估新一代新能源双向电源省 DC 整流专利

(一) 评估新一代新能源双向电源省 DC 整流输出充电

输入电压 (电网电压 220VAC/50HZ) 经图腾柱 PFC 电路, LLC 全桥开关上管 ON 时, TR 变压器原边 (P) 开始储能, LLC 全桥上管 OFF 时, TR 变压器原边储能耦合到 TR 变压器副边 (S), 怎样保证 TR 变压器副边 (S) 电压 U_{BC} 符合设计标准呢? 首 U_{BC} 的电压信息 ADC 值传载新一代新能源双向 (AC $\rightarrow$ DC $\rightarrow$ Buck boost $\rightarrow$ AC) 管理系统 (DSP LS-269 CPU)、经管理系统精准计算与产品设计的标准值 U_{BC} 比对后信息传载给管理系统的 PID。PID 获得管量系统 U_{BC} 的信息后就会精准发出驱动 LLC 全桥 MOS 管 G 极驱动 PWM 波形来调制输出电压 U_{BC} 电压符合设计标准。就是这样保证 U_{BC} 电压符合原设定的电压。TR 副边储能泄放给 Buck boost 电路时没有经过 DC 同步整流而是直接到 Buck Boost 电路。此时 Buck Boost 有双重功能, 是 DC 同步整流电路同时又是 Buck Boost 电路。当 Buck Boost T1 开关管 NO 时接受 TR 高频变压器副边 (P) 储能, 此时谐振电感 U_L 开始储能增加, 谐振电感

U_L 储能增量是 $i_L(+)=\int_0^{t_1} \frac{U_s}{L} dt = \frac{U_s}{L} DcTs$ 、左 (+) 右 (-), 在谐振电感 U_L 储能的同时 Buck boost 有两种工作状选择、第一种 $U_{BC} > U_{EF}$ 是降压模式 (Buck)、降压模式的条是 T1 开关管导通占空比是 $DC < 0.5$ 时, 输出电压 $U_{EF} = \frac{U_s Dc}{1-Dc} < U_s$ 。T1 管 ON 时, 电流流过电感 U_L 使电感储能增加、当 T1 开关管 NO 时间结束就是 T1 开关 OFF 时, Buck Boost 谐振时 U_L 谐振储能电感电流 i_L 电流经 T2 管体内二极管给电容 CE4 储能, CE4 电容储能的同时 Buck Boost 谐振电流减小值 $i_L(-)=\int_{t_2}^{t_1} \frac{U_0}{L} dt = \frac{U_0}{L} (1-Dc)Ts$ 。则电容 CE4 储能以备给电池 (Battery) (充电); 第二种 $U_{BC} < U_{EF}$

时是升压模式 (Boost), 升压模式的条件 T1 开关管工作占空比是 $DC > 0.5$ 。 $U_{EF} = \frac{U_s Dc}{1-Dc} > U_s$ 。开关管 T1 开关导通占空比 $DC > 0.5$ 就进入输出升压 Boost 工作, TR 变压器副边储能传载给 Boost 模式时也不经过同步整流 (DC) 部份直接 Boost 电路 T1 开关管, 升压 (Boost) 与降压 (Buck) 本质区别是 T1 开关管导通占空比不同, 其他都相同。

怎样保证新一代新能源电源输出 Buck Boost 输出电压与电流符合客户要求? 简单价设计管理理念? 采用智能数数字管理理念加 PID 算法实现输出电压与电流符合客户需求。达到创节能减排效果。这里简单说一说新能源的管理系统 DSP LS-269 的 PID 控制器中引入两个 TD 非线性跟踪微分器, 构成非线性 PID 控制器。能够提高系统的响应速度和稳定性。Buck-Boost 变换器通引用 TD 非线性跟踪微分器传载 PID 电压和电流双闭环信息与基准电压进行比较, 再与三角波进行比较, 生成 PWM 调制波, 然后进行电流环的电感电流进行误差计算, 进一步生成 PWM 信号, PWM 驱动波形来驱动 T1 开关管占空比 (D_c) 从而实现 Buck Boost 输出电压和电流稳定的闭环控制。才能保证输出电压与电流达到设计标准与客户要求。

(二) 评估新一代新能源双向电源怎样回馈电池能量并网电网

当电池电压 U_{EF} 高于设计电压 U_{HP} ($U_{HP} = U_{EF}$) 时采用升压 (Boost) 模式, 图 2 T2 开关管 NO 占空比 DC (占空比) > 0.5 。 $U_{HP} = \frac{U_s Dc}{1-Dc} > U_{EF}$ 。输入进入升压工作模式 (Boost)、T2 管 ON 时, 电流流过电感 U_L 使电感储能增加, 谐

振电感 U_L 储能增量是 $i_L(+)=\int_0^{t_1} \frac{U_s}{L} dt = \frac{U_s}{L} DcTs$ 、电感 U_L 左 - 右 +。当 T2 ON 结束时进入 OFF 关闭时, U_L 电感储能电荷通过 T1 开关管不经过 TR 变压器副边同步整流 (DC) 直接传载给 TR 变压器副边 (S), T1 开关频率由 PID 调制控制, Boost 输入 TR 变压器副边时没有经过 TR 变压器副边的同步整流 (DC) 部份, 此电路省略同步整流部份 (DC)。所以 Buck Boost 电路具有三种特性, 一是有升压 Boost、二是降压 Buck、三是 DC 同步整流。传载给 T1 开关管同时怎样保证 $U_{(HP)}$ 电压符合设计标准? Buck boost 输出电压设计要符合设定值 $U_{(HP)}$ 引入两个 TD 非线性跟踪微分器生成非线性 PID 控制器。能够提高系统的响应速度和稳定性。TD 非线性跟踪微分器传载 Buck-Boost 变换器信息传载 PID 电压和电流双闭环信息与基准电压进行比较, 再与三角波进行比较, 生成 PWM 调制波, 然后进行电流环的电感电流进行误差计算, 进一步生成 PWM 信号, PWM 驱动波形来驱动 T1 开关管占空比 (D_c) 从而实现 Buck Boost 输出电压和电流稳定的闭环控制。 $U_{(HP)}$ 电压信息和放电电压 ($U_{(EF)}$) 信息经 TD 非线性跟踪微分器返馈给 DSP

LS-269 管理系统精准计算与比对后, 通过 PID 系统发出 PWM 调制波调制 T2 占空比使输出电压 $U_{(HP)} = \frac{U_0 D_c}{1-D_c}$ 电压符合我们初始设定的电压值。 $U_{(HP)}$ 电压稳定后, 电感 U_L 储能经 T1 开关管 ON 把电感 U_L 储能传载给 TR 高频变压器, 此时 TR 高频变压器开始副边开始储能, T1 开关管 OFF 时 TR 副边储能电荷耦合传载 TR 原边, TR 变压器原边的储能传载 LLC 全桥整流传载图腾 PFC 时, PID 对图腾柱 pfc 的控制是通过电流环和电压环双环控制, 电流环为内环控制、电压环为外环控制, 电流环增加了系统的响应速度。双环控制使得输入电流跟随输入电压达到功率因数校正, 电流环采用平均电流模式, 电压环采用模糊控制方法。电压环采用模糊 PID 控制方法, 电流环采用 PI 平均电流模式控制

储能传载给图腾柱 PFC 电路、图腾柱 PFC 储能回馈给电网。T1 管通 PID 系统精准充输入与输出的关键器件。(关频率把 PID 控制器的传递函数的推分二步, 第一步是时域控制、 $U_t = kP(et + \int_0^t dt + T_d \frac{det}{dt})$; U_t : 输出、 kP 比例系数、 T_i 积分时间常数, T_d 微分时间常数、 et 是误差, dt 采样周期, det 误差周期变化斜率。第二步是 PID 传递函数 $G(s) = \frac{U(s)}{E(s)}$, 这里的 $U(s)$ 就是对 U_t 的拉普拉斯变换、 $E(s)$ 是对输入量 e_t 的拉普斯变换、首先要定义 $L(e_t) = F(s)$, 则根据拉普拉斯变换的线性性质。T1 ON 把电感储能传给高频变压器 TR, HP 点电压通过 PID 调节 T2 占空比 D_c , 输出电压 H_P 等于 U_S , 储能电感电流 i_L 电流经 T1 产生中心频率 80KHZ 输出给 TR 变压给 LLC 电路, LLC 图腾柱 PFC 电路, U_L 储有回馈给电网。回馈电网效率为 93%;

当电池电压 U_{EF} 低于设计电压 U_{HP} ($U_{HP} > U_{EF}$) 时采用降压 (Buck) 模式, 图 2 T2 开关管占空比 $D_c < 0.5$ 。 $U_0 = \frac{U_S D_c}{1-D_c} > U_S$ 。当 T2 开关管 NO 开通占空比 $D_c < 0.5$ 进入 Buck 工作模式、T1 管 ON 导通时, 谐振电流流过电感使电感储能增加, 电感电流增量 $i_L(+) = \int_0^{t_1} \frac{U_S}{L} dt = \frac{U_S}{L} D_c T_s$ 、T2 开关管 NO 结束后就 OFF 开始、谐振电感 U_L 电流 i_L 有减小趋势。电流减小绝对值是 $i_L(-) = \int_{t_2}^{t_1} \frac{U_0}{L} dt = \frac{U_0}{L} (1-D_c) T_s$ 。其工作模式与输入升压模式一样, 也不经过 TR 高频变压同步整流 (DC) 部份, 唯一不同点是 T2 开关管 NO 占空比不同! 这里不再说明!

三、新一代新能源双向电源 (AC → DC → Buck boost → AC) 省略 DC 整流优点与缺点

(一) 优点

- 整机输出充电效率提高 5%、
- 整机功率密度提高 10%
- 节省总机成本 7.5%。

- 产品可靠性提高 15%、
- 提高智能化管理
- 响应环保碳中和政策
- 提高回馈电网工作效率 5%、
- 新一代新能源双向电源对社会的产生影响

如下

(二) 缺点

- 管理系统编程难度会加大

四、新一代新能源双向电源 (AC → DC → Buck boost → AC) 省略 DC 整流 (同步整流) 结束语

(一) 支持能源再利用: 新一代新能源双向电源能够实现能量的双向流动, 即在需要时为设备供电, 在设备产生过剩电能时作为负载吸收电能。这种特性在可再生能源 (如太阳能、风能) 的整合、电池储能以及电动汽车的充电和放电中尤为关键, 能够有效提高能源利用效率, 减少能源浪费

(二) 支持分布式能源系统: 新一代新能源双向电源可以作为储能电池与电网之间的桥梁, 实现电能的双向流动和高效转换。这不仅提高了储能系统的整体性能, 还优化了能源的使用, 为智能电网和可再生能源的整合提供了重要支持

(三) 促进电动汽车的发展: 新一代新能源双向电源可以实现电动汽车的快速充电和放电。当电网负荷较低时, 电动汽车可以作为分布式电源向电网放电, 帮助电网调峰填谷, 提高电网的稳定性。同时, 电源还支持电网的稳定供电, 为电动汽车用户提供更加可靠和便捷的充电服务。

参考文献:

- [1] 孙凯, 陈欢, 吴红飞. 面向储能系统应用的隔离型双向 DC-DC 变换器分析方法与控制技术综述 [J]. 电工电能新技术, 2019, 38 (8): 1—9.
- [2] 郭志东, 徐国禹. 用二次规划法解算互联系统经济调度 [J]. 电力系统自动化, 1998, 22 (1): 40—44.
- [3] 宋永华, 阳岳希, 胡泽春. 电动汽车电池的现状与发展趋势 [J]. 电网技术, 2011, 35 (4): 1—7.
- [4] 朱建华, 罗方林. 功率谐振变换器及其发展方向 [J]. 电工电能新技术, 2004, 23 (1): 55—59.
- [5] 王勇. 电动汽车充电系统及其控制器的研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2009: 1—4.
- [6] 方宇, 徐德鸿, 张艳军. 高功率密度 LLC 谐振变换器的研究 [J]. 电力电子技术, 2007, 41 (8): 16—18.
- [7] 李景新, 牛利勇, 王健强, 等. 一种提高电动汽车充电机轻载运行效率的方法 [J]. 电工电能新技术, 2010, 29 (3): 35—38.
- [8] 李琳. 带箝位二极管移相全桥 (PSFB) 变换器整流二极管振荡研究 [J]. 电子设计工程, 2014, 22 (2): 91—94.
- [9] 何德威, 石春, 吴刚. 数控电源整流二极管换流振荡分析与抑制 [J]. 电子技术应用, 2019, 45 (4): 135—138.
- [10] 李剑, 康勇, 孟宇, 等. 带饱和电感的移相全桥零电压开关 PWM 变换器 [J]. 电力电子技术, 2000, 34 (2): 13—15.
- [11] 杜军, 周维维, 陆治国. 带饱和电感的移相全桥 PWM 变换器软开关分析 [J]. 重庆大学学报 (自然科学版), 2004, 27 (1): 53—57.