



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102570488 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 11

(21) 申请号 201210022451. 6

H02M 7/5387(2007. 01)

(22) 申请日 2012. 02. 01

(71) 申请人 中国电力科学研究院

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路
15 号

(72) 发明人 李建林 李蓓 马会萌 谢志佳
惠东

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

代理人 关玲

(51) Int. Cl.

H02J 3/28(2006. 01)

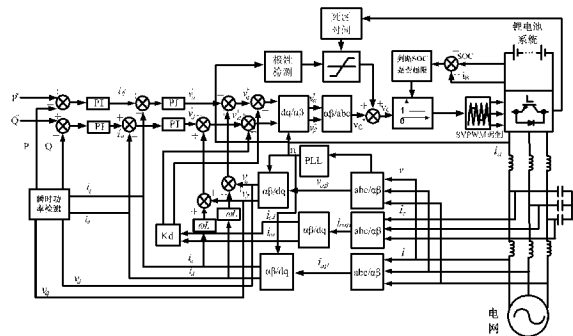
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

基于锂电池储能的功率转换系统及其控制方法

(57) 摘要

一种基于锂电池储能的功率转换系统及其控制方法,所述的锂电池系统连接到变流器的直流端,锂电池系统由锂电池单体串并联组成,串并联后形成的锂电池系统的电压不小于电网系统电压等级的 1.633 倍。本发明采用由 3 组串联电感组和 3 个电容组成的 LCL 滤波器,电感两两串联为一电感组,三组电感组的一端分别接变流器三相交流输出端,三个电感组的另一端分别连接电网; 3 个电容的一端相互连接形成公共端,3 个电容的另一端分别连接三组串联电感的公共端。本发明对所述的锂电池系统进行电池荷电状态 SOC 监测,并采用电流反馈型补偿法对死区进行补偿,采用 SVPWM 技术控制变流器,本发明变流器输出线电压基波最大值为直流侧电压,比一般的 SPWM 变流器输出电压高 15%。



1. 一种基于锂电池储能的功率转换系统,包括锂电池系统、变流器电路、滤波器、并网电路和 DSP 芯片;所述的锂电池系统、变流器电路、滤波器依次顺序连接,DSP 芯片连接到变流器的开关器件,用以输出控制电压,其特征在于所述的锂电池系统连接到变流器的直流端,锂电池系统由锂电池单体串并联组成,串并联后形成的锂电池系统的电压不小于电网系统电压等级的 1.633 倍;所述的滤波器为 LCL 滤波器;所述的 LCL 滤波器由 3 组串联电感组和 3 个电容组成,电感两两串联为一电感组,三组电感组的一端分别接变流器三相交流输出端,三个电感组的另一端分别连接电网;3 个电容的一端相互连接形成公共端,3 个电容的另一端分别连接三组串联电感的公共端;对所述的锂电池系统进行电池荷电状态 SOC 监测。

2. 根据权利要求 1 所述的基于锂电池储能的功率转换系统,其特征在于监测所述的锂电池系统的荷电状态 SOC 和充放电电流 i_b 的方向,判断 SOC 是否越限:当锂电池系统 SOC ≥ 0.8 时,停止锂电池系统充电,电网侧需要功率补偿时,锂电池系统提供功率补偿;当锂电池系统 SOC ≤ 0.3 时,停止锂电池系统放电,电网侧需要功率吸收时,锂电池系统提供功率吸收;当 $0.3 < SOC < 0.8$ 时,根据电网侧需求,锂电池系统补偿或吸收功率。

3. 对权利要求 1 所述的基于锂电池储能的功率转换系统的控制方法,其特征在于所述的变流器采用 SVPWM 技术控制,步骤如下:

检测变流器电网侧三相电流 i 、电网侧三相电压 v 和 LCL 滤波器电容的三相电流 i_c ;电网侧三相电压 v 经过 PLL 锁相环,得到相角 n ,用于参与 Park 变换和 Park 反变换;电网侧三相电流 i 、电网侧三相电压 v 、电容三相电流 i_c 分别经过 Clarke 变换,得到定子静止坐标系分量 $i_{\alpha\beta}$ 、 $v_{\alpha\beta}$ 和 $i_{c\alpha\beta}$; $i_{\alpha\beta}$ 、 $v_{\alpha\beta}$ 和 $i_{c\alpha\beta}$ 再经过 Park 变换,得到 dq 轴分量 i_q 、 i_d 、 v_q 、 v_d 、 i_{cq} 、 i_{cd} ;其中 i_q 、 i_d 、 v_q 、 v_d 经过瞬时功率计算,得到实际输送到电网的有功功率 P 和无功功率 Q ;有功功率 P 与给定有功功率 P^* 做差后,经过一个 PI 环节,得到给定有功电流 i_q^* ;无功功率 Q 与给定无功功率 Q^* 做差后,经过一个 PI 环节,得到给定无功电流 i_d^* ; i_q^* 与 i_q 做差后,经过一个 PI 环节,得到控制电压 dq 轴初步给定分量 v_q' ; i_d^* 与 i_d 做差后,经过一个 PI 环节,得到控制电压 dq 轴初步给定分量 v_d' ; v_q' 与直流轴电压补偿分量 $i_d \omega L$ 相加后,再与 v_q' 做差,得到变流器给定电压 v_q^* ; v_d' 与交流轴电压补偿分量 $i_q \omega L$ 相减后,再与 v_d' 做差,得到变流器给定电压 v_d^* ; v_q^* 与 i_{cq} 经过一个 Kd 环节后的值做差后,再经过 Clarke 反变换,得到控制电压定子静止坐标系分量 v_{α}^* ; v_d^* 与 i_{cd} 经过一个 Kd 环节后的值做差后,再经过 Clarke 反变换,得到控制电压定子静止坐标系分量 v_{β}^* 。 v_{α}^* 、 v_{β}^* 经过 Park 反变换后得到控制电压 v_c^* ;

根据开关器件的开通和关断时间计算死区时间 T_c ;定义电流极性由变流器流向电网为正;对变流器三相输出端 a 相电流 i_a 进行极性检测,检测后经过补偿电压计算公式 $U_{com} = T_c/T_s \times U_{dc} \text{sgn}(i)$ 计算得到补偿电压 U_{com} ,式中 T_c 为死区时间, T_s 为一个 PWM 波周期, $\text{sgn}()$ 为符号函数;将补偿电压 U_{com} 与控制电压 v_c^* 相加,得到死区补偿后的控制电压 v_c ;

检测锂电池系统荷电状态 SOC 和锂电池系统充放电电流 i_b 的方向,判断锂电池系统荷电状态 SOC 是否越限:如锂电池系统荷电状态 SOC,由 DSP 输出逻辑值 1,如锂电池系统荷电状态 SOC 越限,则输出逻辑值 0,所述的逻辑值;与所述的死区补偿后的控制电压 v_c 相与后,作为变流器 SVPWM 的控制电压;

采用 SVPWM 方法控制变流器,SVPWM 利用变流器三相桥输出的 8 个电压矢量来合成指令

电压矢量,用“1”表示每相上桥臂开关导通,用“0”表示下桥臂开关导通,则上述8种工作状态依次表示为100、110、010、011、001、101以及111和000,前6种状态有输出电压,属有效工作状态,后两种状态全部是上管通或下管通,没有输出电压,称之为零工作状态,所要的电压矢量用基本矢量线形组合实现,基本矢量的作用时间一般小于开关周期 T_0 的 60° ,不足的时间用“零矢量”补齐。

基于锂电池储能的功率转换系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于锂电池储能的功率转换系统及其控制方法。

背景技术

[0002] 针对大部分可再生能源发电装置所产生的电能存在不可预测性和间歇性问题,国内外陆续开始尝试采用网架改造、风电预测技术、备用容量和大规模储能等手段来解决瓶颈问题。其中大规模储能系统以其具有动态响应特性好、寿命长、可靠性高等特点,在提高电网风电接纳能力领域为国内外所关注。同时,近年来大容量电池储能技术得到了快速发展和应用,相应的技术路线逐渐清晰,一些典型的储能电池技术已经初步具备应用于电力系统调频、调峰等诸多方面。其中锂电池因其比能量大、循环寿命长、安全性能好、可快速充放电、自放电少和无记忆效应等优点,在间歇性能源并网发电方面有很好的应用前景。

[0003] 锂电池系统的广泛应用,需要一些核心技术支撑。功率转换系统(PCS)是其中重要的一项。传统功率转换系统由DC/DC、DC/AC和L滤波器组成,变流器控制采用SVPWM调制方法。电池组出力经DC/DC提升电压后,再经过DC/AC转换为三相交流输出,通过L滤波器与电网相连。现有的功率转换系统由于硬件结构和控制方法的原因,存在器件复杂、转换率低、开关损耗较大、波形失真、缺乏对电池系统保护等问题。

[0004] 中国专利201110193855.7,名称为“基于锂电池和超级电容的储能并网电路及其控制方法”,提出储能并网电路及其控制思路,但没有考虑电池组SOC(荷电状态)状态,不利于对电池进行保护。其使用DC/DC设备,增加设备数量且功率很难做大,并使双向能量转换环节效率降低。

发明内容

[0005] 本发明的目的是克服现有功率转换系统在设备复杂、双向功率转换效率低、忽略储能电池系统保护、并网谐波滤波效果不好、缺少死区补偿等缺点,提出一种具有新的硬件结构的功率转换系统及其控制方法。

[0006] 本发明功率转换系统采用的硬件结构包括锂电池系统、变流器电路、LCL滤波器、并网电路和DSP芯片,所述的锂电池系统、变流器电路、LCL滤波器顺序连接,DSP芯片连接到变流器的开关器件,用以输出控制电压。

[0007] 本发明的锂电池系统采用锂电池单体串联或并联组成。根据锂电池系统的电压特性,可省去现有技术的DC/DC直流升压部分,减少设备的同时提高电能利用率。本发明采用LCL滤波器,与传统L滤波器相比,引入电容电流内环控制,增强系统稳定性,提高滤波效果,同时节约总的电感磁芯材料。本发明还加入锂电池系统SOC(电池荷电状态)检测控制策略,避免锂电池系统出现过度充电或者过度放电状态,延长储能电池组工作寿命,减少综合使用成本。采用电流反馈型补偿法对死区进行补偿,减少反馈二极管的续流产生的谐波,改善波形失真。采用SVPWM技术,每次开关切换只涉及一个器件,开关损耗小;利用电压空间矢量直接生成三相PWM波,计算简单;变流器输出线电压基波最大值为直流侧电压,比一

般的 SPWM 变流器输出电压高 15%。

[0008] 本发明功率转换系统的结构组成如下：

[0009] 所述的锂电池系统由锂电池单体串联或并联组成。具体串联或并联方法以满足系统电压实际需求为标准。设定电网系统电压等级为 u ，串并联后形成的锂电池系统电压为 U ， U 应不小于 1.633 倍的 u 。由于锂电池单体经过串并联形成的锂电池系统能够满足电网系统电压等级需求，并且具有输出电压稳定的特点，因此可以省去 DC/DC 升压稳压电路。锂电池系统直接连接到变流器的直流端。

[0010] 所述的 LCL 滤波器由 3 组串联电感组和 3 个电容组成。电感两两串联为一电感组，三组电感组的一端分别接变流器三相交流输出端，三个电感组的另一端分别连接电网。3 个电容的一端相互连接形成公共端，3 个电容的另一端分别连接三组串联电感的公共端。在低频段，LCL 滤波器的频率特性与单 L 滤波器是一致的，滤波电容仅影响电流的高频谐波成分，对低频尤其是基波基本没有影响；在高频段，LCL 滤波器的幅值衰减速度远高于 L 滤波器，LCL 滤波器有利于消除高次谐波。

[0011] 锂电池系统的直流输出通过变流器转换为三相交流输出，变流器输出通过 LCL 滤波器滤波后连接到电网，采用 SVPWM 技术通过 DSP 芯片控制变流器。

[0012] 本发明功率转换系统的控制方法如下：

[0013] DSP 芯片检测变流器电网侧三相电流 i 、电网侧三相电压 v 和 LCL 滤波器电容的三相电流 i_c 。电网侧三相电压 v 经过 PLL 锁相环，得到相角 n ，所述的相角 n 用于参与 Park 变换和 Park 反变换。电网侧三相电流 i 、电网侧三相电压 v 、电容三相电流 i_c 分别经过 Clarke 变换，得到定子静止坐标系分量 $i_{\alpha\beta}$ 、 $v_{\alpha\beta}$ 和 $i_{c\alpha\beta}$ ； $i_{\alpha\beta}$ 、 $v_{\alpha\beta}$ 和 $i_{c\alpha\beta}$ 再经过 Park 变换，得到 dq 轴分量 i_q 、 i_d 、 v_q 、 v_d 、 i_{cq} 、 i_{cd} 。其中 i_q 、 i_d 、 v_q 、 v_d 经过功率计算，得到实际输送到电网的有功功率 P 和无功功率 Q 。有功功率 P 与给定有功功率 P^* 做差后，经过一个 PI 环节，得到给定有功电流 i_q^* ；无功功率 Q 与给定无功功率 Q^* 做差后，经过一个 PI 环节，得到给定无功电流 i_d^* 。 i_q^* 与 i_q 做差后，经过一个 PI 环节，得到控制电压 dq 轴初步给定分量 v_q' ； i_d^* 与 i_d 做差后，经过一个 PI 环节，得到控制电压 dq 轴初步给定分量 v_d' 。 v_q' 与直流轴电压补偿分量 $i_d\omega L$ 做差后，再与 v_q' 做差，得到变流器给定电压 v_q^* ； v_d' 与交流轴电压补偿分量 $i_q\omega L$ 做差后，再与 v_d' 做差，得到变流器给定电压 v_d^* 。 v_q^* 与 i_{cq} 经过一个 Kd 环节后的值做差后，再经过 Clarke 反变换，得到控制电压定子静止坐标系分量 v_{α}^* ； v_d^* 与 i_{cd} 经过一个 Kd 环节后的值做差后，再经过 Clarke 反变换，得到控制电压定子静止坐标系分量 v_{β}^* 。 v_{α}^* 、 v_{β}^* 经过 Park 反变换后得到控制电压 v_c^* 。

[0014] 根据开关器件的开通和关断时间计算死区时间 T_c 。定义电流极性由变流器流向电网为正。对变流器三相输出端 a 相电流 i_a 进行极性检测，检测后经过补偿电压计算公式计算得到补偿电压 U_{com} 。将补偿电压 U_{com} 与 v_c^* 相加，得到死区补偿后的控制电压 v_c 。补偿电压计算公式为 $U_{com} = T_c/T_s \times U_{dc} \text{sgn}(i)$ 。式中 T_c 为死区时间， T_s 为一个 PWM 波周期， $\text{sgn}()$ 为符号函数。

[0015] 从锂电池系统检测 SOC 和锂电池系统充放电电流 i_b ，将锂电池系统 SOC 与锂电池系统充放电电流 i_b 比较后，经过 SOC 越限判断环节，判断锂电池系统是否过度充电或过度放电，根据电池荷电状态情况，输出逻辑值 1 或 0。SOC 未越限输出逻辑 1，SOC 越限则输出逻辑 0，输出的逻辑值与所述的 v_c 相与后，作为变流器 SVPWM 的控制电压。

[0016] 采用 SVPWM 方法控制变流器。SVPWM 利用变流器三相桥输出的 8 个电压矢量来合成指令电压矢量。8 个电压矢量是间断的,而参考电压矢量是连续的,但是如果开关频率足够高,则可以以一个开关周期的平均值为标准来进行等效。三相电压型桥式变流电路,采用 180° 导通方式,共有 8 种工作状态,即 K6、K1、K2 通, K1、K2、K3 通, K2、K3、K4 通, K3、K4、K5 通, K4、K5、K6 通, K5、K6、K1 通,以及 K1、K3、K5 通和 K2、K4、K6 通,用“1”表示每相上桥臂开关导通,用“0”表示下桥臂开关导通,则上述 8 种工作状态可依次表示为 100、110、010、011、001、101 以及 111 和 000。

[0017] 前 6 种状态有输出电压,属有效工作状态,而后两种全部是上管通或下管通,没有输出电压,称之为零工作状态。在每个工作周期中,6 种有效工作状态各出现一次,每一种状态持续 60° ,在一个周期中 6 个电压矢量共转过 360° ,形成一个封闭的正六边形,对于 111 和 000 这两个“零工作状态”,在这里表现为位于原点的零矢量,坐落在正六边形的中心点。

[0018] 所要的电压矢量,用基本矢量线形组合来实现,基本矢量的作用时间一般小于开关周期 T_0 的 60° ,不足的时间可用“零矢量”补齐。

附图说明

[0019] 图 1 本发明实施例锂电池系统用功率转换系统拓扑结构;

[0020] 图 2 锂电池系统拓扑结构图;

[0021] 图 3 LCL 滤波器拓扑结构图;

[0022] 图 4 SOC 监测系统控制框图;

[0023] 图 5 死区补偿控制框图;

[0024] 图 6 本发明实施例锂电池系统用功率转换系统控制流程图;

[0025] 图 7 SVPWM 系统拓扑结构图。

具体实施方式

[0026] 以下结合图和具体实施方式对本发明作进一步说明。

[0027] 图 1 为锂电池系统用功率转换系统拓扑结构图。本发明采用的结构是:锂电池系统、变流器电路、LCL 滤波及并网电路顺序连接;DSP 芯片连接到变流器,用以输出控制电压。

[0028] 图 2 为锂电池系统拓扑结构图。锂电池系统由若干电池单体经过串并联组成,具体串并联方法由实际需求决定。设定系统电压等级为 u ,串并联后形成的锂电池系统电压为 U , U 应不小于 1.633 倍的 u 。

[0029] 图 3 为 LCL 变流器拓扑结构图。LCL 变流器由 3 组串联电感和 3 个电容组成。电感 L_1 与电感 L_2 串联为一组,电感 L_3 与电感 L_4 串联为一组,电感 L_5 与电感 L_6 串联为一组,电感 L_1 、 L_3 、 L_5 的另一端分别接变流器三相交流输出端,电感 L_2 、 L_4 、 L_6 的另一端分别连接电网。电容 C_1 、 C_2 、 C_3 的一端相互连接形成公共端,电容 C_1 、 C_2 、 C_3 的另一端分别连接电感 L_5 、 L_6 的公共端,电感 L_3 、 L_4 的公共端和电感 L_1 、 L_2 的公共端。

[0030] 图 4 是 SOC 监测系统控制框图。监测锂电池系统 SOC 和锂电池系统充放电电流 i_B 的方向,以判断锂电池系统充电还是放电,并判断 SOC 是否越限,SOC 未越限,则 DSP 输出逻辑 1,如 SOC 越限,则 DSP 输出逻辑 0,输出的逻辑值与控制电压相与后,作为 SVPWM 的控制

电压。具体判定 SOC 的方法为：当锂电池系统 $SOC \geq 0.8$ 时，DSP 输出逻辑值 0，停止锂电池系统充电，电网侧需要功率补偿时，DSP 输出逻辑值 1，锂电池系统提供功率补偿；当锂电池系统 $SOC \leq 0.3$ 时，DSP 输出逻辑值 0，停止锂电池组放电，电网侧需要功率吸收时，DSP 输出逻辑值 1，锂电池系统提供功率吸收；当 $0.3 < SOC < 0.8$ 时，DSP 输出逻辑值恒定为 1，根据电网侧需求，锂电池系统补偿或吸收功率。

[0031] 图 5 是死区补偿控制框图。变流器输出通过 LCL 滤波后与电网相连，根据开关器件的开通和关断时间计算死区时间 T_c 。定义电流极性由变流器流向电网为正。对变流器三项输出端 a 相电流 i_a 进行极性检测，根据检测结果 i_a 和死区时间 T_c 计算出补偿电压 U_{com} 。将补偿电压 U_{com} 与控制电压 v_c^* 相加，形成最终控制电压通过 SVPWM 控制变流器输出。

[0032] 图 6 是锂电池系统用功率转换系统控制流程图。锂电池系统通过变流器转换为三相交流输出，变流器输出的三相交流通过 LCL 滤波器滤波后连接到电网，变流器采用 SVPWM 技术控制。

[0033] 检测网侧三相电流 i 、网侧三相电压 v 和电容三相电流 i_c 。 v 经过 PLL，得到相角 n ，用于参与 Park 变换和 Park 反变换。 i 、 v 、 i_c 分别经过 Clarke 变换，得到 $i_{\alpha\beta}$ 、 $v_{\alpha\beta}$ 和 $i_{c\alpha\beta}$ ；再经过 Park 变换，得到 i_q 、 i_d 、 v_q 、 v_d 、 i_{cq} 、 i_{cd} 。 i_q 、 i_d 、 v_q 、 v_d 经过瞬时功率计算，得到实际输送到电网的有功功率 P 和无功功率 Q 。有功功率 P 与给定有功功率 P^* 做差后，经过一个 PI 环节，得到给定有功电流 i_q^* ；无功功率 Q 与给定无功功率 Q^* 做差后，经过一个 PI 环节，得到给定无功电流 i_d^* 。 i_q^* 与 i_q 做差后，经过一个 PI 环节，得到 v_q' ； i_d^* 与 i_d 做差后，经过一个 PI 环节，得到 v_d' 。 v_q' 与直流轴电压补偿分量 $i_d \omega L$ 加后，再与 v_q' 做差，得到变流器给定电压 v_q^* ； v_d' 与交流轴电压补偿分量 $i_q \omega L$ 减后，再与 v_d' 做差，得到变流器给定电压 v_d^* 。 v_q^* 与 i_{cq} 经过一个 Kd 环节后的值做差后，再经过 Clarke 反变换，得到 v_{α}^* ； v_d^* 与 i_{cd} 经过一个 Kd 环节后的值做差后，再经过 Clarke 反变换，得到 v_{β}^* 。 v_{α}^* 、 v_{β}^* 经过 Park 反变换后得到控制电压 v_c^* 。

[0034] 根据开关器件的开通和关断时间计算死区时间 T_c 。定义电流极性由变流器流向电网为正。对变流器三项输出端 a 相电流 i_a 进行极性检测，检测后经过补偿电压计算公式，得到补偿电压 U_{com} 。将补偿电压 U_{com} 与 v_c^* 相加，得到死区补偿后的控制电压 v_c 。

[0035] 从锂电池系统检测 SOC 和锂电池系统充放电电流 i_b ，SOC 与 i_b 比较后，经过 SOC 越限判断环节，由 DSP 输出逻辑值 1 或 0。SOC 未越限输出逻辑 1，SOC 越限则输出逻辑 0，输出的逻辑值与 v_c 相与后，作为 SVPWM 的控制电压。

[0036] 图 7 为 SVPWM 系统拓扑结构图。电压型三相全桥电压型变流器的直流母线 D 和直流母线 C 之间跨接锂电池系统，其中锂电池系统的正极接直流母线 D，锂电池系统的负极接直流母线 C。电压型三相全桥变流器的输出分为 a、b、c 三相，每相均由两个开关管串联组成：a 相由开关管 K1 和 K2 串联组成，开关管 K1 的阳极连接到直流母线 D，开关管 K1 的阴极连接 K2 的阳极，开关管 K2 的阳极连接变流器的 a 相输出和开关管 K1 的阴极，开关管 K2 的阴极连接直流母线 C；b 相由开关管 K3 和 K4 串联组成，开关管 K3 的阳极连接到直流母线 D，开关管 K3 的阴极连接 K4 的阳极，开关管 K4 的阳极连接变流器的 a 相输出和开关管 K3 的阴极，开关管 K4 的阴极连接直流母线 C；c 相由开关管 K5 和 K6 串联组成，开关管 K5 的阳极连接到直流母线 D，开关管 K5 的阴极连接 K6 的阳极，开关管 K6 的阳极连接变流器的 a 相输出和开关管 K5 的阴极，开关管 K6 的阴极连接直流母线 C；对数字信号处理芯片 DSP 进行编

程配置,产生控制信号 P1 ~ P6,由于 P1 ~ P6 的电压等级不够且相互之间电压没有隔离,不能够直接控制开关管 K1 ~ K6,要经隔离驱动电路进行隔离和电压放大,再用来控制开关管 K1 ~ K6,P1 ~ P6 经隔离驱动电路后分别对应于 P1' ~ P6',P1' ~ P6' 分别连接到每个开关管的驱动门极上,P1' 控制开关管 K1 的开通和关断状态 ;P2' 控制开关管 K2 的开通和关断状态 ;P3' 控制开关管 K3 的开通和关断状态 ;P4' 控制开关管 K4 的开通和关断状态 ;P5' 控制开关管 K5 的开通和关断状态 ;P6' 控制开关管 K6 的开通和关断状态,从而实现逆变。

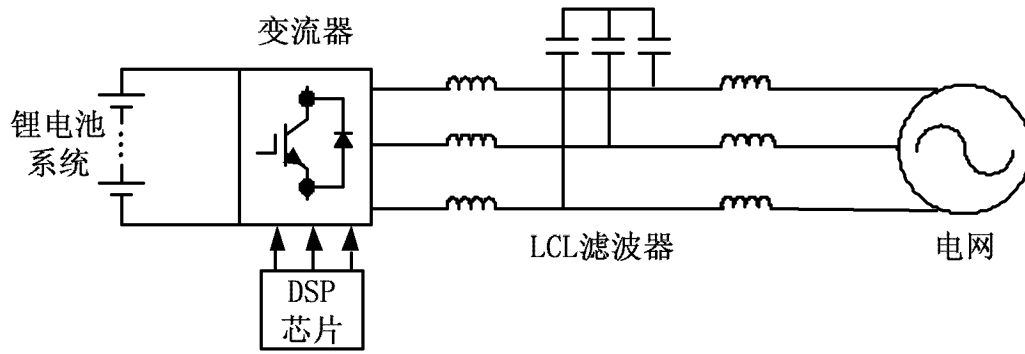


图 1

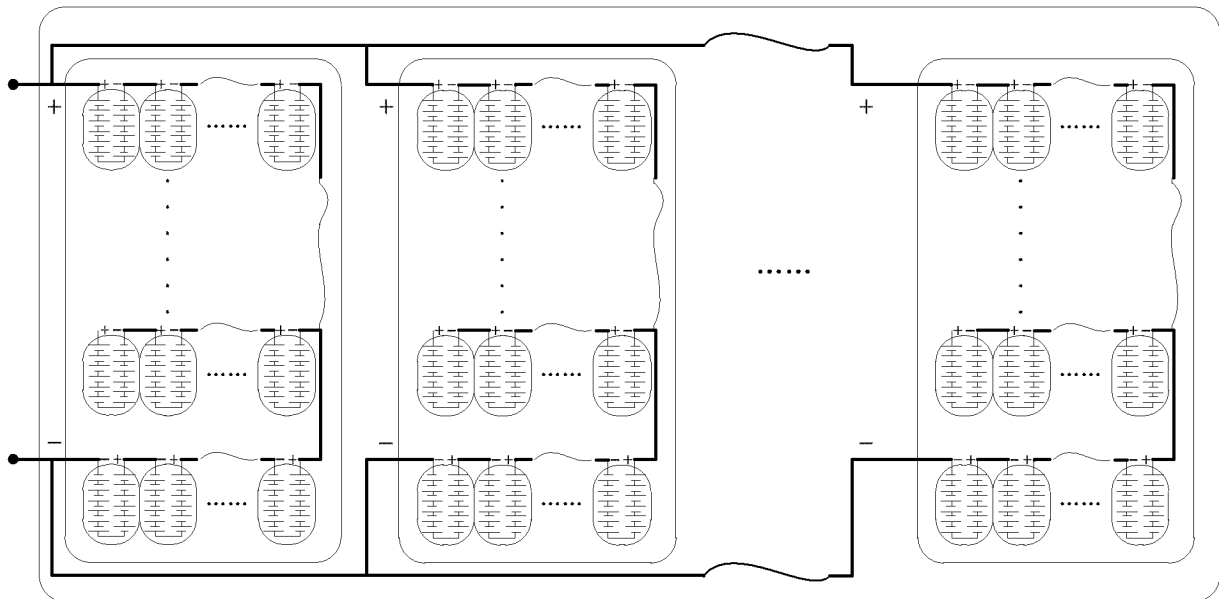


图 2

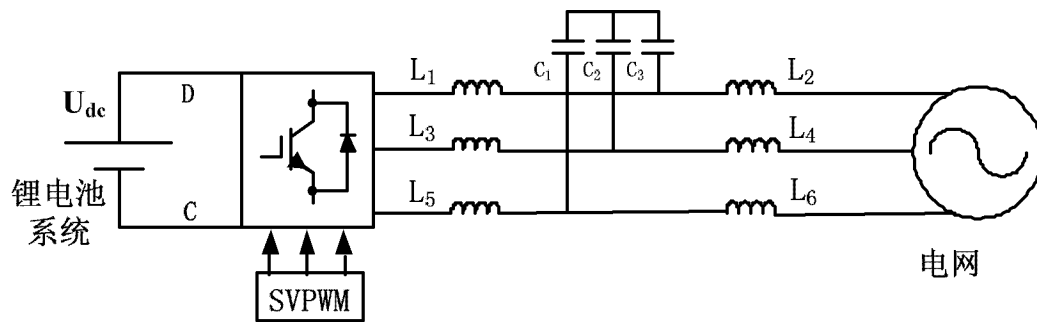


图 3

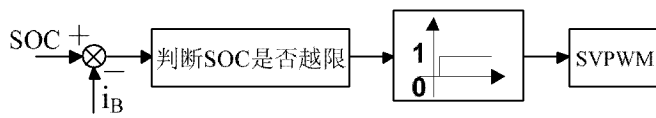


图 4

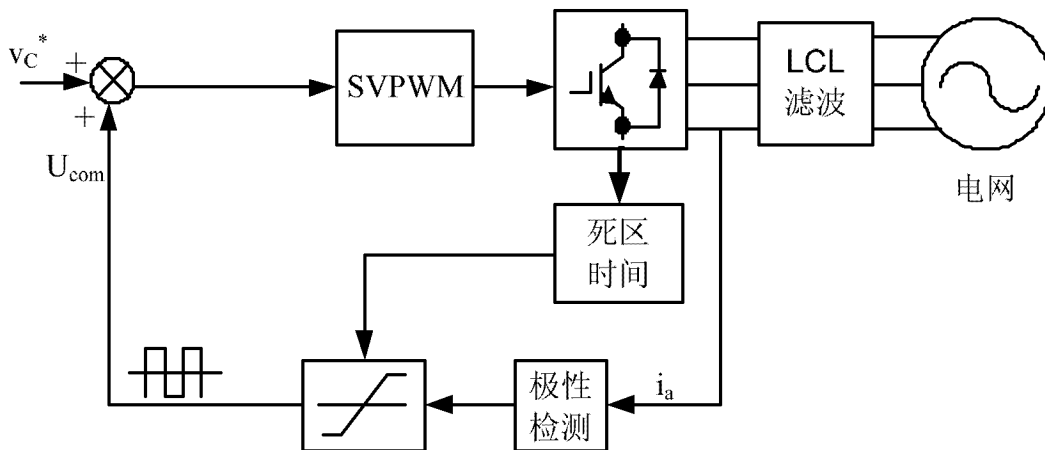


图 5

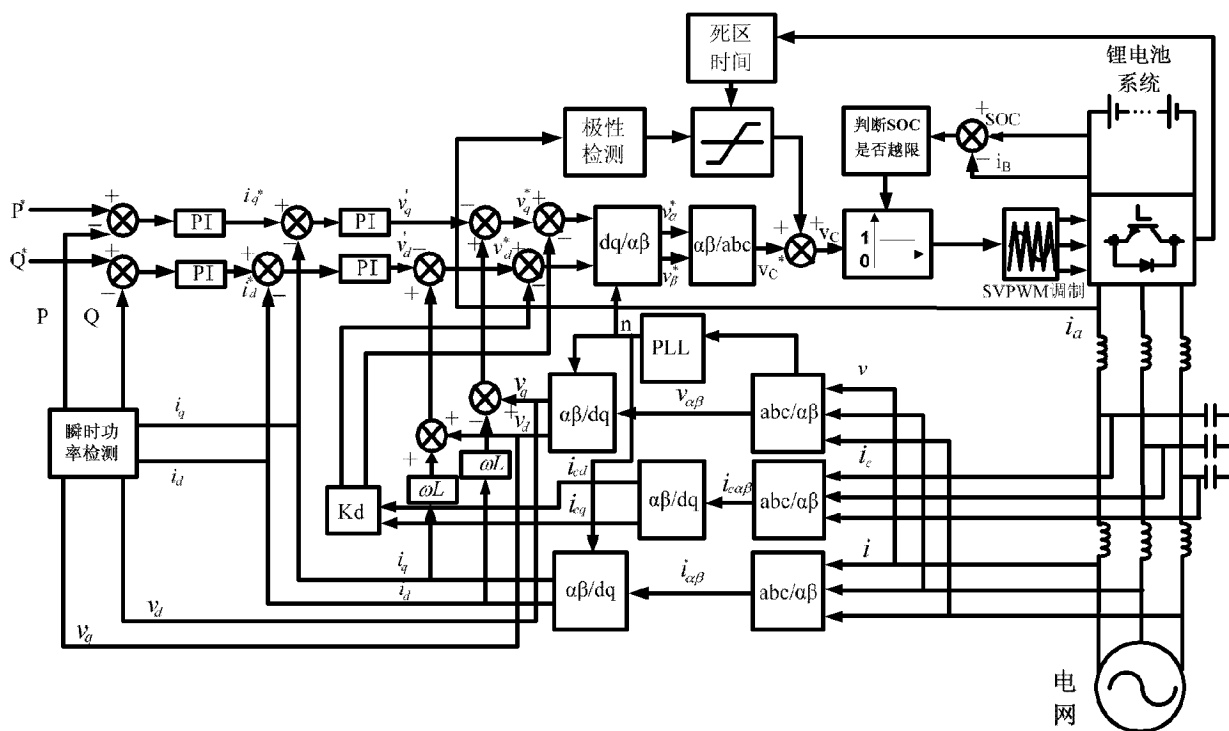


图 6

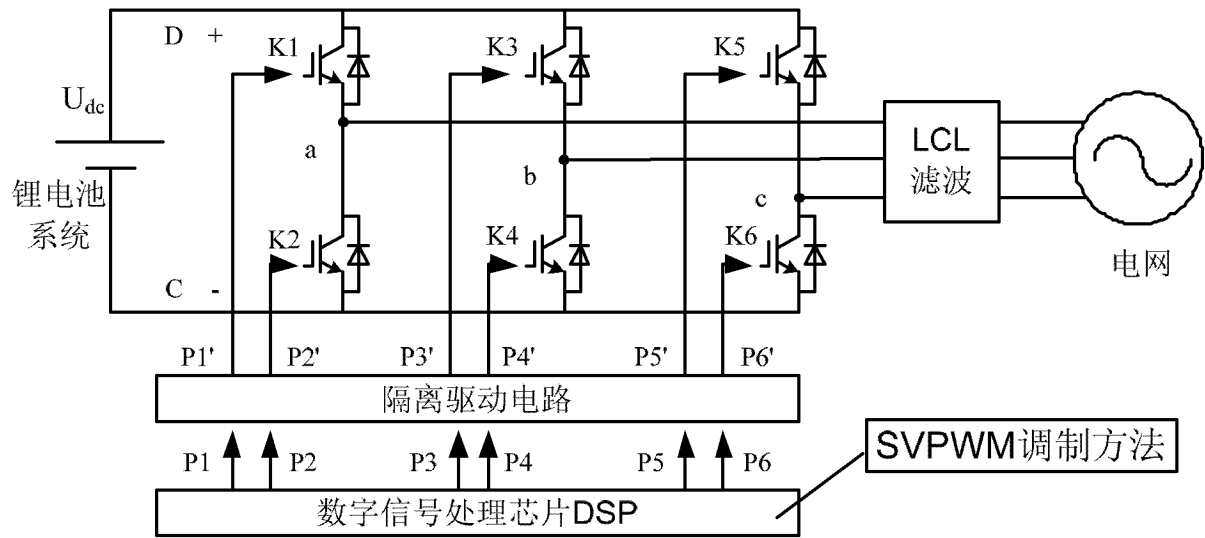


图 7