

Application of High Voltage SVG and High Voltage Variable Frequency Energy Storage

Yu Huo Bin Wei*

Yingruilai Technology Co., Ltd., Anshan, Liaoning, 114001, China

Abstract

With the continuous deepening of the new energy process in the power grid, the structure of the power system is constantly being optimized and adjusted. High voltage SVG and high-voltage frequency conversion are widely used in power grids and enterprises. The application of energy storage technology plays an irreplaceable role in improving the efficiency of the power grid, ensuring its stability, and saving electricity costs. During the operation of traditional high-voltage SVG, the DC side voltage fluctuates greatly, requiring the configuration of large capacity capacitors to maintain stability. The DC side voltage of each unit in the series bridge chain may be unbalanced, posing a threat to device safety. However, high-voltage energy storage devices require specialized transformers, high-voltage cables, and high insulation equipment, which significantly increases the construction cost. Inconsistent voltage between battery clusters can easily cause circulating currents, which require additional control strategies or decentralized architectures (increasing the number of inverters) to alleviate. At the same time, the construction of high-voltage energy storage devices and high-voltage SVG devices in household scenarios involves scattered equipment (such as separation of inverters and batteries), and the connection lines cannot be standardized, which increases the difficulty of construction.

Keywords

High voltage SVG energy storage; High voltage frequency converter energy storage; buck-boost circuit

高压 SVG 与高压变频的储能应用方式

霍煜 魏斌*

英瑞来科技有限公司, 中国·辽宁鞍山 114001

摘要

随着电网新能源进程的持续深入, 电力系统的结构正在不断优化调整。高压SVG与高压变频更是在电网和企业中普遍应用。储能技术的应用更是为提高电网的工作效率, 保证电网的稳定, 在节省用电成本起到了不可替代的作用。传统高压SVG工作过程中直流侧电压波动较大, 需配置大容量电容器以维持稳定, 串联桥链中各单元直流侧电压可能出现不平衡, 威胁装置安全。而高压储能装置需配套专用变压器、高压线缆及高绝缘设备, 建设成本显著增加。电池簇间电压不一致易引发环流, 需额外控制策略或分散式架构(增加变流器数量)来缓解。同时建设高压储能装置和高压SVG装置户用场景中设备分散(如逆变器与电池分离), 连接线无法标准化, 增加施工难度。

关键词

高压SVG储能; 高压变频器储能; 升降压电路

1 引言

本文就高压链式 SVG 与高压变频器的储能方案进行讨论, 提出了高压 SVG 和储能集合的对应的储能方案。本文重点讨论在高压链式 SVG 与变频单元的的储能方式, 即内部锂电池充放电的升降压电路, 及充放电工作原理。此方案解决了高压 SVG 直流不稳定的问题, 同时增加了储能功能,

克服了储能设备的诸多问题。为同时需要无功补偿和储能的电站增加了一个更好的设备选择。

当今时代, 电力是工业的动力, 是现代生活不可或缺的必备能源之一, 应用广泛。是现代科技生活发展不可缺少的动力。电力应用的好坏, 电网工作的稳定, 成本的高低, 是关系全社会所有人员的生活品质。而 SVG 是与变频器应用广泛, 在矿山、风能、太阳能, 电机运行, 电网运行中得到了大批的应用。而储能则是新的应用方式, 将电能存储, 防止突然断电而造成的经济损失, 对电网用电的波峰及波谷进行调节, 平衡且并稳的用电是对电网资源的合理利用, 减少用电成本。而储能与 SVG 或变频器的结合, 则更利用广大的用电设备, 形成一机多用, 可有效的处理节能, 减少用电设备的浪费, 对电网的稳定, 成本的降低, 起着不可忽

【作者简介】霍煜(1973-), 男, 中国辽宁锦县人, 工程师, 从事工业电气自动化研究。

【通讯作者】魏斌(1984-), 男, 中国辽宁鞍山人, 本科, 工程师, 从事电子信息研究。

视的做用。

2 高压 SVG 储能单元的工作原理：

2.1 单元拓扑

单元拓扑如图 1 所示。

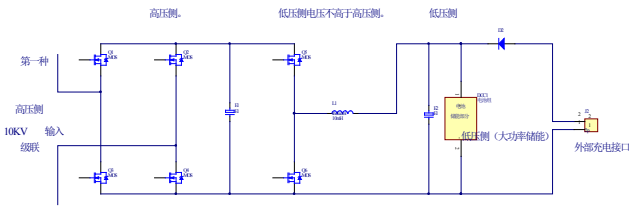


图 1 高压 SVG 的储能拓扑

其中 Q1、Q2、Q3、Q4 构成单元的全桥输入输出侧，为电网提供感性或容性输出。此部分为正常的 SVG 输出环节及给内部储能从电网中取电功能。

其中 Q5、Q6、L1、E2 构成双向可逆的充放电电路，Q5、Q6 侧为高压侧，E2 侧为低压侧。高压侧为 SVG 的直流支撑电压，为 SVG 正常的输出提供电力的支撑。

其中 DCC1 为锂电池，做为储能单位。由于锂电池由串联使用，过高的电压使得电池串联过多，管理困难，并维护时电压过高也会造成安全隐患，故储能侧电压不易过高。

其中 J2、D2 为外部充电接口，为防止设备长期不工作，单元单独检测充电所用。当 SVG 长时间不用，电池电能不足，并单元进行维修时，单元应可认进行独立充电，J2 就是给留出的外部充电接口，可以使用外部充电器给单元进行独立。

本文重点讨论 Q5、Q5、L1、E2 及 DCC1 电池的充放电环节。即储能的充放电部分的工作原理。如图 2 所示：

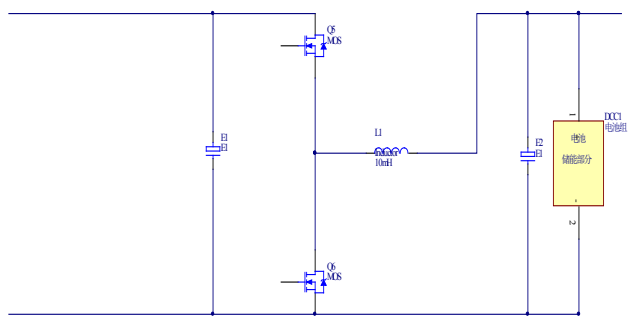


图 2 充放电模式

2.2 充电模式

从图 2 中可以拆分得出，当 Q5 处于开关状态时，Q6 处于关闭状态时，电路为降压电路 BUCK 电路。等效为图 3 所示：

此时 U1 为供电端，U2 为充电端。D6 为 Q6 的续流二极管。

在 BUCK 电路中，遵循伏秒积平衡原则：

伏秒积：即电感两端的电压 V 和这段时间 T 的乘积。

伏秒平衡原理：在稳态工作的开关电源中电感两端的正伏秒值等于负伏秒值。即： $U_{on} \times T_{on} = U_{off} \times T_{off}$

在电路稳定工作的条件下，L1 以下简称 L。在 Q5 开通时流入 L 的电流等于流出在 Q5 关断时流出 L 的电流 $\Delta I_{on} = \Delta I_{off}$

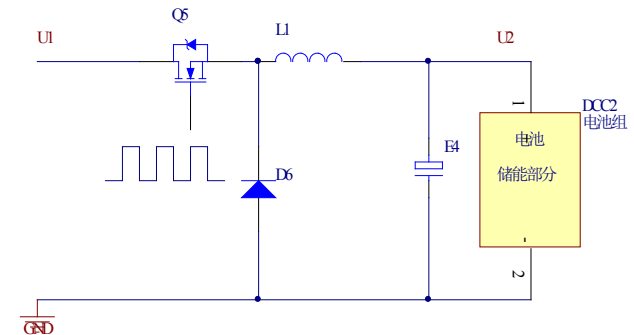


图 3 充电模式

又由电感公式： $U=L \frac{di}{dt}$ 可得 $U1 \times T_{on} = U2 \times T_{off}$ 即伏秒平衡。 T_{on} （开通时间）+ T_{off} （关断时间）= T_s （1 周期）

代入上述图中，U1 为 U_{on} ，U2 为 U_{off} 。

在控制过程中，当恒流充电时，U2（即 U_{off} ）的电压为电流本身电压 U_C 加上恒流电流乘以电池内阻 R 即 $U2 = U_C + \Delta U$ 。 $\Delta U = I \times R$

由于电流处于一个三角波波动状态，开关频率较高时，其上下限基本处于一个很小的波动区间，其电流基本电流为 $I = \frac{\Delta U}{R}$

$$\text{在 } Q5 \text{ 开通时上升电流为 } +\Delta i = \int_0^{t_{on}} \frac{U1-U2}{L} dt = \frac{U1-U2}{L} T_{on}$$

$$\text{在 } Q5 \text{ 关断时的下降电流为 } -\Delta i = \int_{t_{on}}^{T_s} \frac{U2}{L} dt = \frac{U2}{L} T_{off}$$

在电感较小的状态下，即当电感放电至 0 时，但放电周期没有结束，此时 $\Delta i = 0$ 即在一个周期内有一闲置时间。

$$\text{总电流恒流即为 } I = \frac{\Delta U}{R} + (+\Delta i) + (-\Delta i)$$

当 $(+\Delta i) > (-\Delta i)$ 时，电流上升。

当 $(+\Delta i) < (-\Delta i)$ 时，电流下降。

当 $(+\Delta i) = (-\Delta i)$ 时，电流恒定在当前状。

此时为储能电池充电模式。

2.3 放电模式

从图 2 的不同工作模式下或拆分出图 4 结构：D5 为 Q5 的续流二极管，Q5 处于关断状态，Q6 处于开关状态。电能由锂电池放出，通过全桥调制后给电网供电。此时 U2 为供电端，U1 为放电端。电路转变为 Boost 电路。

Boost 变换器也称升压式变换器，是一种输出电压高于输入电压的单管不隔离直流变换器。开关管 Q 也为 PWM 控制方式，但最大占空比 D 必须小于 1，不允许在 $D=1$ 的状态下工作。

首先，若 Q6 长时间处于关断状态，此时，U1 如大于 U2，则 D5 处于截止状态。正常状态时，U1 的正常工作电压大于 U2。此时如要 U1 能正常开作时，电池所提供电压

经 L1 与 Q6 的配合下要提升至 U1 的电压值，才能保证 U1 侧电压的正常输出。

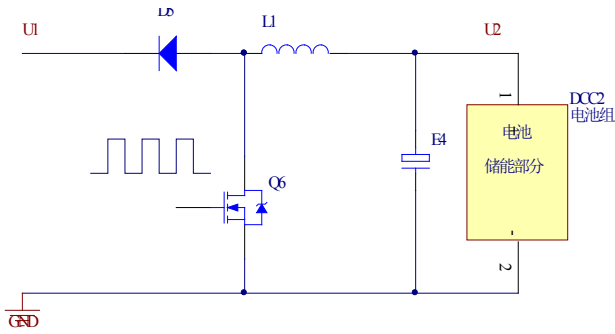


图 4 放电模式

当开关管 Q6 导通时，电感 L 中的电流成线性增加，电感自感阻碍电流上升，电感将电能转为磁能存储起来。二极管的作用是防止电容对地放电。

开关管 Q6 关闭时，此时电感的电流又降开始慢慢减少。由于自感的作用阻碍电流的减小，电感两端是右负左正，所以输出端的电压就成了 $U1=U2+UL$ 大于输入电压。

对于电感有 $UL_{on}(Q6 \text{ 开通时})=U2, U_{off}(Q6 \text{ 关断时})=U1-U2$ ，由伏秒平衡原理得 $U2 \cdot TD=(U1-U2) \cdot (Ts-TD)$ ，化简可以得到 $U1=\frac{1}{1-D}U2$ ，以达到输出电压 U1 稳定的目的。

3 在高压变频器储能中的应用

如图 5 所示：

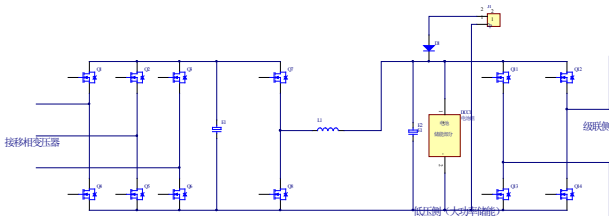


图 5 储能 在高压变频器（单元）的应用方式

如图 5 所示，Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6 组成三相

全桥方式，当变频器正常工作时 Q1-Q5 起到全桥整流作用，将电网电能传输至直流侧，并由 Q7、Q8 给电池充电（此处原理与 SVG 充电原理相同），此处电池电压接近与整流后电压，以保证逆变输出不受影响，再由全桥逆变进行级联输出。

当发生停电时需要变频器储能放电时，此时有二种情况：

1、保证生产需要，当变频器输入无电压供应时，变频器输出不变，变频器输出能量由储能电池提供，以确保变频器正常输出，

2、给电网提供电能，此时变频器停止输出，并由储能电池向变频器高压侧放电（此处原理与上述 SVG 入电原理相同）并由输入侧的三相全桥电路测通过移相变压器向电网逆变输出，给电网提供电能。

4 结论

此类充放电模式可以通过一个半桥（一个 IGBT）与一个电感及半桥中的续流二极管，通过不同的开关组合，分别可以组成充放电模式，原理清晰算法简单，控制准确，实现方式容易。在高压 SVG 中即可做为调整电网质量又可成为调节波峰波谷及备用电源的使用。在高压变频中使用中更具有即保证工作状态不间断，又可对外电网提供调节的功能，真正做到了一机多用，充分发挥了设备的应用潜力。并明具有调节范围较宽，效率高，应用条件广范，成本相对较低，控制精度较高的特点。

参考文献

[1] 王兆安，黄俊 直流斩波电路，电力电子技术[M].2011，（3） 20-22
 [2] 官正强.SVG技术及其应用.制造业自动化[J].2010，（10） 上：206-215。
 [3] 吴守箴，臧英杰。电气传动的脉宽调制控制技术[M].2002，（2），1-10。
 [4] 王志强，肖文勋，虞龙等译 开关型调整拓扑，开关电源设计 [M].2010，（1），6-24