



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102931687 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 22

(21) 申请号 201210386216. 7

(22) 申请日 2012. 10. 12

(73) 专利权人 华北电力大学(保定)

地址 071003 河北省保定市永华北大街 619 号

专利权人 国网新源张家口风光储示范电站有限公司
国家电网公司

(72) 发明人 张建成 鲍雪娜 王银明 张改利 梁廷婷

(74) 专利代理机构 石家庄冀科专利商标事务所有限公司 13108

代理人 李羨民 高锡明

(56) 对比文件

CN 201887525 U, 2011. 06. 29,

US 2007/0029881 A1, 2007. 02. 08,

黄勇. 超级电容器蓄电池混合储能在独立光伏发电系统中应用研究. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库》. 2012, 27-47.

鲍雪娜等. 联网光伏电站可调度运行特性分析. 《电网与清洁能源》. 2012, 第 28 卷 (第 8 期), 59-63.

侯世英等. 混合储能系统在独立光伏发电系统功率平衡中的应用. 《电网技术》. 2011, 第 35 卷 (第 5 期), 183-187.

审查员 崔思鹏

(51) Int. Cl.

H02J 3/46 (2006. 01)

H02J 7/35 (2006. 01)

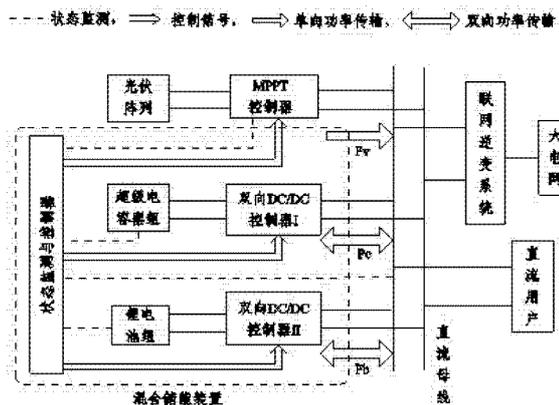
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种混合储能光伏电站的功率调节方法

(57) 摘要

一种混合储能光伏电站的功率调节方法,它在光伏电站运行过程中实时检测其直流母线电压及分别通过两个双向 DC/DC 控制器与直流母线相连的超级电容器组和锂电池组的电压,实时检测光伏电源的有功出力,同时快速计算达到光伏电站电能质量调控目标或完成调度任务所需超级电容器组和锂电池组的出力值,并根据计算结果控制两个双向 DC/DC 控制器的运行状态,从而实现超级电容器组和锂电池组充放电过程的控制。本发明充分发挥了锂电池能量密度大和超级电容器循环寿命高、功率密度大的优点,可以很好地解决光伏电站并网运行存在的电能质量差和参与电网调度困难的问题,为光伏电站的推广应用铺平了道路。



1. 一种混合储能光伏电站的功率调节方法,它采用超级电容器和锂电池构成光伏电站混合储能系统,其特征在于,所述方法在光伏电站运行过程中实时检测其直流母线电压及分别通过两个双向 DC/DC 控制器与直流母线相连的超级电容器组和锂电池组的电压,实时检测光伏电源的有功出力,同时快速计算达到光伏电站电能质量调控目标或完成调度任务所需超级电容器组和锂电池组的出力值,并根据计算结果控制两个双向 DC/DC 控制器的运行状态,从而实现对超级电容器组和锂电池组充放电过程的控制;

具体步骤如下:

a. 在光伏电站运行过程中实时检测超级电容器组、锂电池组和直流母线的电压,实时检测光伏电源的有功出力,并根据电网调度要求确定由超级电容器组和锂电池组构成的混合储能系统的运行模式是电能质量调控模式还是主动可调度模式;

b. 混合储能系统出力值的计算:

①、如果电网调度要求混合储能系统的运行模式为电能质量调控模式,将控制目标设定为保证直流母线供电系统的高质量稳定;首先判断直流母线电压是否满足电能质量标准要求,如果满足电能质量标准要求、则混合储能系统原有控制状态不变;如果不满足电能质量标准要求,控制规则分为两种:若直流母线电压低于标准下限,即低于额定电压的 95%,则对混合储能系统进行发电控制;若直流母线电压高于标准上限,即高于额定电压的 105%,则对混合储能系统进行充电控制;混合储能系统的发电功率和充电功率流经双向 DC/DC 控制器 I 和双向 DC/DC 控制器 II,其出力大小和方向取决于双向 DC/DC 控制器 I 和 II 中电力电子器件的控制方法;

若直流母线运行电压为 U_D 、额定电压为 U_N 、直流母线端短路阻抗为 X ,则混合储能系统输出控制功率为:

$$P_C + P_B = \frac{U_D^2 + U_N^2 - 2U_D \cdot U_N}{X},$$

式中, P_C 、超级电容器组有功出力, P_B 、锂电池组有功出力;

若输出控制功率为正值,表示对混合储能系统进行发电控制;若输出控制功率为负值,表示对混合储能系统进行充电控制;

②、如果电网调度要求混合储能系统的运行模式为主动可调度模式,则将控制目标设定为满足电网调度部门下发的光伏电站发电功率计划,此时对直流母线电压的高质量要求放到次要地位;光伏电站运行过程中,根据实时检测到的光伏电源出力情况、光伏电站发电计划功率、混合储能系统中超级电容器组和锂电池组的运行情况,快速计算出混合储能系统控制策略,并进行相应的调节;混合储能系统的输出控制功率为:

$$(P_C + P_B) = P_D - P_V,$$

式中, P_V 、光伏电源有功出力, P_C 、超级电容器组有功出力, P_B 、锂电池组有功出力, P_D 、电网调度部门下发给光伏电站的计划出力;

储能系统的控制规则为:当 $P_V < P_D$ 时,控制混合储能系统发电运行;当 $P_V = P_D$ 时,控制混合储能系统待机运行;当 $P_V > P_D$ 时,控制混合储能系统充电运行;

c. 在每种运行模式下,根据步骤 b. 混合储能系统出力值的计算结果,由双向 DC/DC 控制器 I 和双向 DC/DC 控制器 II 实时控制超级电容器组和锂电池组的充放电运行状态,实现混合储能系统对光伏电站运行状态的调控;

d. 在每种运行模式下,对混合储能系统的控制采用“超级电容器储能单元优先充电、优先放电”的方式。

一种混合储能光伏电站的功率调节方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种将超级电容器和磷酸铁锂电池构成的混合储能系统应用于大容量光伏发电系统时、光伏电站输出有功功率的控制方法,属发电技术领域。

背景技术

[0002] 兆瓦级光伏发电系统又称为光伏电站,它不同于现有的小容量光伏发电系统,光伏电站通常采用并网运行方式。由于受光照强度和温度等自然因素的影响,电站中光伏电源的有功出力具有较大波动性,所以,直接并网运行会产生一系列的问题,如引起电网运行不稳定、供电质量差、参与电网调度困难等。解决上述问题的有效措施就是在光伏电站中加入储能装置,如果储能装置性能良好且控制方法得当,既能提高光伏电站的供电电能质量,又可以使光伏电站能够灵活地参与电网调度,增强电网运行稳定性。

[0003] 目前,已有将无源并联结构的超级电容器与蓄电池构成的混合储能系统用于小型光伏发电系统的研究文献。由于蓄电池循环寿命短,频繁大功率小容量充放电会极大地缩短蓄电池的使用寿命,而超级电容器循环寿命长、充放电速度快、功率密度大,这种无源并联结构利用超级电容器对蓄电池进行充电控制调节,可以使得蓄电池的充电电流比较平缓,以延长蓄电池的使用寿命。但是,这种结构方式下,蓄电池放电过程得不到有效控制,不能实现对超级电容器与蓄电池输出功率的精确调节。文献中提到的混合储能系统从结构上考虑无法实现对光伏电站电能质量的调控,也不能实现联网光伏电站参与电网调度的任务。

[0004] 磷酸铁锂电池相比于普通蓄电池在性能方面具有更大的优势,它储能密度大、没有记忆效应,在充放电循环次数方面也有了很大的提高。因此,将磷酸铁锂电池与超级电容器组成的混合储能系统分别通过电能传输控制器接于光伏电站的直流母线上,加以相应的“柔性化”储能系统调控策略,非常适用于输出功率频繁波动、负载随机变化、参与电网调度极其困难的联网光伏电站中。目前这类混合储能系统在光伏电站运行过程中的控制方法还不成熟,致使混合储能系统的优势无法充分发挥,极大地限制了光伏电站技术在国内的推广和应用。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的缺陷,提供一种能改善光伏电站供电电能质量并使光伏电站可以参与电网调度的混合储能光伏电站的功率调节方法。

[0006] 本发明所称问题是以下述技术方案实现的:

[0007] 一种混合储能光伏电站的功率调节方法,所述方法在光伏电站运行过程中实时检测其直流母线电压及分别通过两个双向 DC/DC 控制器与直流母线相连的超级电容器组和锂电池组的电压,实时检测光伏电源的有功出力,同时快速计算达到光伏电站电能质量调控目标或完成调度任务所需超级电容器组和锂电池组的出力值,并根据计算结果控制两个双向 DC/DC 控制器的运行状态,从而实现对超级电容器组和锂电池组充放电过程的控制。

[0008] 上述混合储能光伏电站的功率调节方法,它按照以下步骤进行:

[0009] a. 在光伏电站运行过程中实时检测超级电容器组、锂电池组和直流母线的电压,实时检测光伏电源的有功出力,并根据电网调度要求确定由超级电容器组和锂电池组构成的混合储能系统的运行模式是电能质量调控模式还是主动可调度模式;

[0010] b. 混合储能系统出力值的确定:

[0011] ①、如果电网调度要求混合储能系统的运行模式为电能质量调控模式,将控制目标设定为保证直流母线供电系统的高质量稳定;首先判断直流母线电压是否满足电能质量标准要求,如果满足电能质量标准要求、则混合储能系统原有控制状态不变;如果不满足电能质量标准要求,控制规则分为两种:若直流母线电压低于标准下限,即低于额定电压的 95%,则对混合储能系统进行发电控制;若直流母线电压高于标准上限,即高于额定电压的 105%,则对混合储能系统进行充电控制;混合储能系统的发电功率和充电功率流经双向 DC/DC 控制器 I 和双向 DC/DC 控制器 II,其出力大小和方向取决于双向 DC/DC 控制器 I 和 II 中电力电子器件的控制方法;

[0012] 若直流母线运行电压为 U_D 、额定电压为 U_N 、直流母线端短路阻抗为 X ,则混合储能系统输出控制功率为:

$$[0013] \quad P_C + P_B = \frac{U_D^2 + U_N^2 - 2U_D \cdot U_N}{X},$$

[0014] 若输出控制功率为正值,表示对混合储能系统进行发电控制;若输出控制功率为负值,表示对混合储能系统进行充电控制;

[0015] ②、如果电网调度要求混合储能系统的运行模式为主动可调度模式,则将控制目标设定为满足电网调度部门下发的光伏电站发电功率计划,此时对直流母线电压的高质量要求放到次要地位;光伏电站运行过程中,根据实时检测到的光伏电源出力情况、光伏电站发电计划功率、混合储能系统中超级电容器组和锂电池组的运行情况,快速计算出混合储能系统控制策略,并进行相应的调节;混合储能系统的输出控制功率为:

$$[0016] \quad (P_C + P_B) = P_D - P_V,$$

[0017] 储能系统的控制规则为:当 $P_V < P_D$ 时,控制混合储能系统发电运行;当 $P_V = P_D$ 时,控制混合储能系统待机运行;当 $P_V > P_D$ 时,控制混合储能系统充电运行;

[0018] c. 在每种运行模式下,根据混合储能系统出力值的计算结果,由双向 DC/DC 控制器 I 和双向 DC/DC 控制器 II 实时控制超级电容器组和锂电池组的充放电运行状态,实现混合储能系统对光伏电站运行状态的调控;

[0019] d. 在每种运行模式下,对混合储能系统的控制采用“超级电容器储能单元优先充电、优先放电”的方式,以减少锂电池的充放电次数,提高整个储能系统的服务年限。

[0020] 本发明利用两个双向 DC/DC 控制器对超级电容器组和锂电池组进行充放电控制,使混合储能系统可以灵活地参与光伏电站出力调整,实现光伏电站运行状态的快速、准确调控。所述方法可以充分发挥锂电池能量密度大和超级电容器循环寿命高、功率密度大的优点,很好地解决了光伏电站并网运行时供电电能质量差和参与调度困难的技术难题,为光伏电站的推广应用铺平了道路。

附图说明

[0021] 图 1 是本发明的系统结构原理图；

[0022] 图 2 是双向 DC/DC 控制器的电路图；

[0023] 图 3 是主动可调度模式的原理框图。

[0024] 图中各符号表示为： P_V 、光伏电源有功出力， P_B 、锂电池组有功出力， P_C 、超级电容器组有功出力， P_D 、电网调度部门下发给光伏电站的计划出力， U_D 、直流母线电压，MPPT 控制器、最大功率跟踪控制装置，L、电感，C、电容，D1、D2、二极管，Q1、Q2、绝缘栅双极晶体管，U1、低压侧电压，U2、高压侧电压。

具体实施方式

[0025] 本发明所述的光伏电站中的混合储能系统结构参看图 1，其构成中包括超级电容器组、锂电池组、双向 DC/DC 控制器 I、双向 DC/DC 控制器 II、状态监测与控制器。所述双向 DC/DC 控制器 I 和 II 可以由多组如图 2 所示的电路并联构成，双向 DC/DC 控制器 I 的并联组数由超级电容器组的容量和单组变换电路的最大传输功率来决定，双向 DC/DC 控制器 II 的并联组数由锂电池组的容量和单组变换电路的最大传输功率来决定。双向 DC/DC 控制器 I 的低压侧接入超级电容器组，双向 DC/DC 控制器 II 的低压侧接入锂电池组，两者的高压侧接入光伏电站直流母线。

[0026] 双向电能控制器 I、II 可以运行于发电模式，将超级电容器组或锂电池组储存的电能输送给直流母线，也可以运行于充电模式，将剩余的光伏电能存储到超级电容器组或锂电池组中。通过调节相应的双向电能传输控制电路的工作状态，可以实现对储能系统的能量管理，如超级电容器与锂电池组充放电的分时独立控制等，这样超级电容器组与锂电池组的工作电压范围就可以不同，使得两者在容量配置、串并联结构以及运行方式上具有较大的灵活性。利用双向 DC/DC 控制电路的变流作用，可以将传输电流限定在可靠范围内，极大地提高了系统运行的稳定性和可靠性，同时还可以抑制超级电容器组与锂电池组端电压变化对光伏电站供电电能质量的影响。

[0027] 状态监测与控制器主要包括数据采集、分析计算和触发控制单元，系统运行时数据采集单元实时检测超级电容器组、锂电池组和直流母线的电压，实时采集 MPPT 控制器的输出功率 (P_V)。分析计算单元快速运算出达到光伏电站电能质量调控目标或完成调度任务所需超级电容器组和锂电池组的出力值。触发控制单元实时调节双向 DC/DC 控制器 I 和双向 DC/DC 控制器 II 的运行状态，当需要储能系统向电网释放能量时，关断 Q2，对 Q1 进行脉宽调制 (PWM) 控制；当光伏电源向储能系统充电时，关断 Q1，对 Q2 进行 PWM 控制。控制过程中 $U_2 > U_1$ ，PWM 控制可以采用 PI 闭环调节方法调整 Q1 和 Q2 的通断状态及 PWM 占空比，实现对超级电容器或锂电池储能单元的充、放电功率调节。图 1 中 MPPT 控制器为光伏电源最大功率跟踪控制器，它负责将光伏电源的最大发电功率传输到直流母线上，当接收到“弃光”指令时自动减小光伏电源的出力值。

[0028] 本发明根据用户或电网对于光伏电站电能质量的要求和电网下达给光伏电站的发电计划对超级电容器组和锂电池组进行出力优化控制，该控制方法按照以下步骤进行：

[0029] a. 数据采集单元实时检测直流母线、超级电容器组和锂电池组的工作状态，实时检测光伏电源的有功出力，结合电网调度要求实时判断出适用于光伏电站运行状态调整的混合储能系统运行模式。

[0030] b. 如果运行模式为电能质量调控模式,状态监测与控制器中的分析计算单元根据直流母线电压的变化情况和储能系统的运行状态,快速计算出光伏电源出力与用电功率之间的不平衡功率,制定出储能系统充放电控制策略。触发控制单元则实时调整双向 DC/DC 控制器 I 和双向 DC/DC 控制器 II 的运行状态,依靠混合储能系统的充放电达到提高直流母线电压质量的目的。

[0031] c. 如果运行模式为主动可调度模式,状态监测与控制器根据电网调度部门下发的光伏电站发电功率计划、光伏电源出力情况及混合储能系统的运行状态,计算出光伏电站完成调度任务所需的光伏阵列、超级电容器和锂电池出力调整计划,并进行实时控制。系统运行原理参看图 3。

[0032] d. 每种运行模式下,按照超级电容器储能单元“优先充电、优先放电”的原则进行控制。根据分析计算单元的运算结果,状态监测与控制器中触发控制单元实时控制图 2 所示电路中电力电子器件 Q1、Q2 的运行状态,调节双向 DC/DC 控制器 I 和双向 DC/DC 控制器 II 中功率传输方向和大小,实现超级电容器储能单元和锂电池储能单元运行方式的灵活控制。

[0033] e. 在混合储能系统充电控制过程中,如果配置的超级电容器组和锂电池组均已达到最大储能量,即超级电容器储能单元端电压达到最高工作电压、锂电池储能单元荷电状态(SOC)达到其最大值时,光伏电源如果仍有多余的光伏电能,超级电容器组和锂电池组将不再吸收电能,图 1 中的状态监测与控制器向 MPPT 控制器发出“弃光”指令,减小光伏电源的出力。

[0034] f. 在放电过程中,如果超级电容器组和锂电池组均已达到最低储能量,即超级电容器储能单元端电压达到最低工作电压而锂电池储能单元荷电状态(SOC)达到其最小值时,光伏电站仍然存在功率缺额时,图 1 中的状态监测与控制器向联网逆变系统发出“减小并网功率”的指令,强制光伏电站功率缺额减小。

[0035] 由于超级电容器功率密度大、充放电循环寿命长,而锂电池能量密度大、循环寿命相对较短、充放电条件比较严格,将超级电容器与锂电池组成的混合储能系统应用于光伏电站中,在光伏电源出力波动或负载功率波动时,通过灵活有序地控制混合储能系统各单元的充放电过程及出力大小,在保证光伏电站输出功率满足用户或电网电能质量要求或满足电网调度任务要求的同时,可以优化锂电池的充放电过程,控制其充放电深度、延长使用寿命,降低光伏电站综合运行成本。

[0036] 由此可见,无论光伏电源输出功率频繁波动还是调度任务随机性很强的情况,超级电容器与锂电池组成的混合储能系统均可实时地参与光伏电站电能质量的调整和出力调整,有效改善光伏电站的运行特性。该控制方法可以有效解决光伏电站并网运行时供电电能质量差和参与调度困难的技术难题。

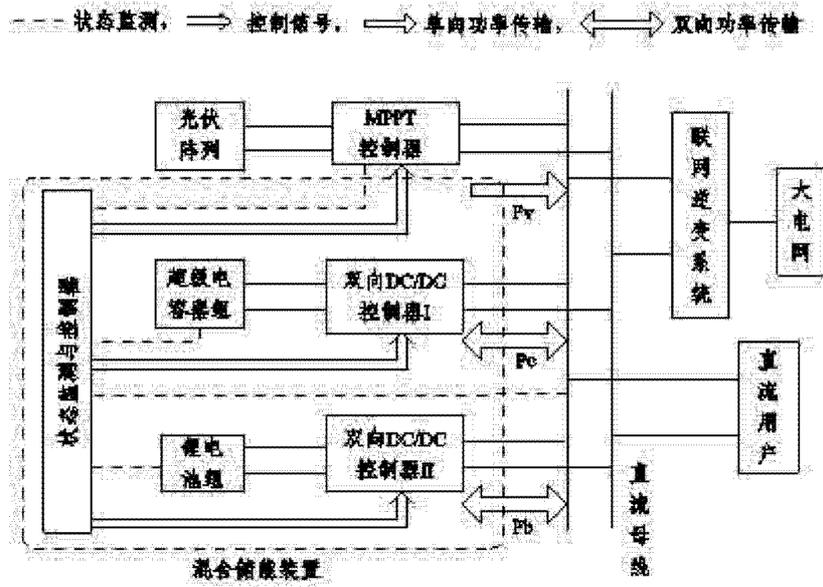


图 1

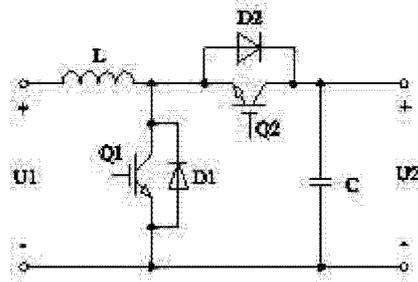


图 2

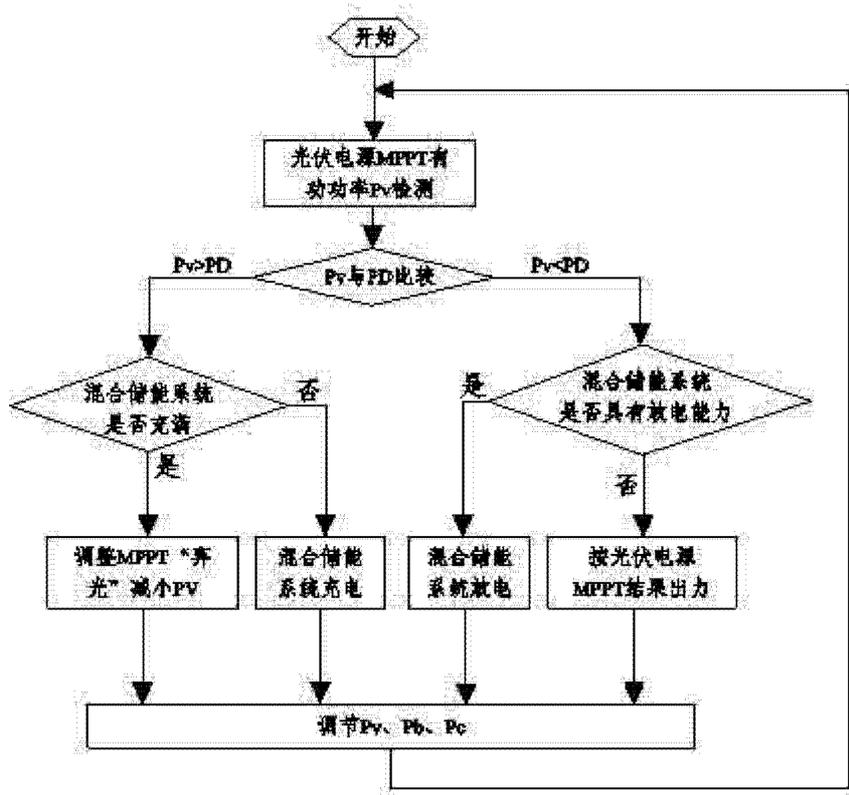


图 3