

基于RTDS的自治型风光储微电网运行实时仿真研究

为了适应新形势下的能源发展需求,建立准确的分布式新能源实时仿真模型和微电网实时仿真试验平台,开展分布式新能源和微电网试验研究与技术开发具有非常重要的意义。以风光储新能源及微电网实时仿真试验平台为研究对象,基于RTDS实时仿真系统,深入研究了风光储新能源系统的RTDS实时仿真建模技术,并进行实时仿真验证。提出了微电网控制系统的离网运行控制策略,并基于微电网实时仿真试验平台进行了控制策略的测试,测试结果验证了所提控制算法的正确性和有效性。所建微电网实时仿真试验平台可为风光储新能源及微电网的研究提供平台支撑。

郭海平 张建设 郭琦/南方电网科学研究院
杨苹 许志荣/华南理工大学电力学院

0 引言

微电网通过整合微电源、负荷、储能装置及控制装置,形成一个单一可控的独立供电系统,以提供一种能够充分利用分布式发电单元的机制^[1-6]。微电网具有双重角色,对于大电网来说,微电网被视为一个可控单元,以数秒的速度响应外部输电网络的需求^[7];对用户来说,微电网可以满足特定的需求,为用户提供多样化的电能^[8]。

分布式新能源发电和微电网的出现给传统电力系统带来机遇和挑战。欧洲、美国和日本等国家近年来通过微电网示范工程对分布式能源发电和微电网进行了大量、深入的研究,在分布式能源发电以及微电网的运行、控制、保

护、能量管理、对电力系统的影响及相关标准的制定等多个领域开展了大量工作,为分布式能源发电和微电网的发展和运行积累了大量经验。在我国,可再生能源发电、分布式发电和微电网的大规模发展是电力系统发展的趋势,它们的大规模运行将会对电力系统造成影响,需要进行一系列课题研究,目前我国在这方面的研究还处于起步阶段,故建立一个含风光储新能源的微电网试验平台,并利用该平台开展可再生能源发电、分布式能源发电及微电网的相关课题研究,是一种研究分布式新能源发电及微电网的有效技术手段^[9-11]。

因此,南方电网公司特立项研究新能源以及微电网的建模及并网系统特性的实时仿真,开展风光储新能源及微电网系统实时数字仿真的关键技术研究工作,从软件在环实时仿真、控制器在环实时仿真以及功率硬件在环实时仿真三个层次对风光储新能源发电单元进行实时仿真建模,并最终建立风光储新能源及微电网实时仿真试验平台。通过此平台建设,可开展风光储新能源及微电网的基础性、前瞻性的研发工作,为风光储等新能源及微电网的研究和示范提供仿真试验平台,为相关标准规范的编制、修订工作提供基础研究和验证平台,同时为开展风光储新能源发电、微电网等相关技术的培训工作提供平台支撑。

1 微电网系统建模

整个微电网试验平台由储能系统、



郭海平/工程师

关键词/Keywords

微电网 ·
RTDS ·
实时仿真 ·
风光储 ·

中国南方电网科技项目:含风光新能源发电和微电网的实时仿真试验研究平台(K-KY2013-014),国家高技术研究发展计划(863计划)(2014AA052001)。

光伏发电系统、永磁直驱风力发电系统和负荷组成,如图1所示^[12]。

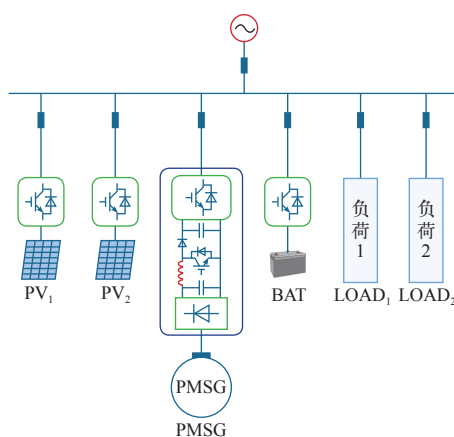


图1 微电网实验平台电气拓扑结构

永磁直驱风力发电系统拓扑结构如图2所示。永磁直驱发电机输出电能通过不可控整流器整流后输入前级Boost升压电路,Boost升压电路对输入电压进行升压并完成最大功率点跟踪控制,并将能量注入逆变器直流侧,最后逆变器通过逆变实现发电系统的并网运行。整个系统中,不可整流控制实现电能的交直流变换,Boost升压电路则用于实现升压和最大功率点跟踪控制,逆变器则用于实现对直流侧电压的稳定控制和并网运行^[13-14]。

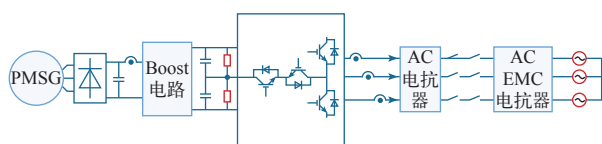


图2 永磁直驱风力发电系统拓扑结构

光伏并网系统的拓扑结构如图3所示。由图3可知,光伏发电系统为两级式结构,前级为Boost升压电路,用于实现光伏发电系统的最大功率点

跟踪控制,后级为T型三电平DC/AC逆变器,用于实现光伏发电系统的并网控制,当Boost电路不工作时,光伏发电系统变为单级式结构,只有T型三电平DC/AC逆变器工作,此时光伏发电系统的最大功率点跟踪控制则是通过控制逆变器直流侧电压实现,逆变器交流侧输出端接LCL滤波器,用于实现对并网电流的滤波功能。图3中, L_1 为逆变器侧滤波器; R_1 为 L_1 内阻及线路上的寄生电阻; R_2 、 L_2 为线路上的寄生电阻和电感; R_d 为抑制LCL滤波器的谐振特性而设置的无源阻尼电阻。下面将分别对系统各部分进行叙述^[15]。

储能系统中, V/f 控制是利用逆变器反馈电压以调节交流侧电压来保证输出电压的稳定的,常采用电压外环和电流内环的双环控制结构,电压外环能够保证输出电压的稳定,而电流内环构成电流随动系统能大大加快抵御扰动的动态过程。电压、电流双环控制充分利用了系统的状态信息,不仅动态性能好,稳态准确度也高,同时电流内环增大了逆变器控制系统的带宽,使得逆变器动态响应加快,对非线性负载扰动的适应能力加强,输出电压的谐波含量减小。

V/f 控制的目的是实现对储能电压的稳定控制,因此采用电压控制器对其进行调节,为了实现电压的稳定控制,系统外环为电压 dq 轴分量控制,采用PI控制器进行调节,调节器输出作为内环电流给定值,其表达式为

$$i_d^* = K_{P1}(u_{cd}^* - u_{cd}) + K_{I1} \int (u_{cd}^* - u_{cd}) dt \quad (1)$$

$$i_q^* = K_{P2}(u_{cq}^* - u_{cq}) + K_{I2} \int (u_{cq}^* - u_{cq}) dt$$

电流控制结构可采用跟并网运行时一样的结构,最后可得储能系统控制结构如图4所示。

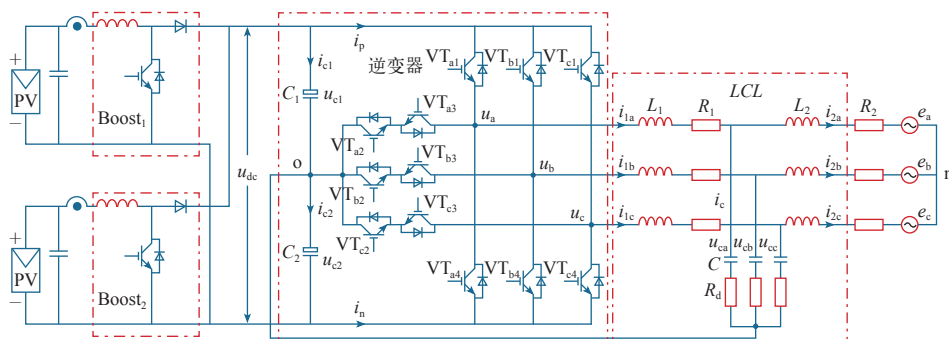


图3 三电平光伏并网逆变器拓扑结构

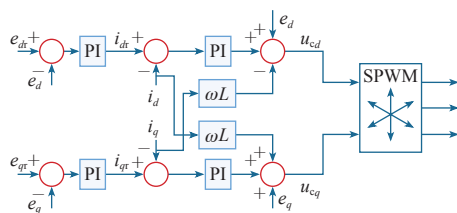


图4 储能系统V/f控制结构框图

2 系统及其通信架构

基于风光储及负荷RTDS仿真模型，建立风光储微电网实时仿真试验平台，用于研究微电网的运行特性及其控制策略。此时，风光储系统模型的底层控制由各自的控制器完成，整个微电网的协调控制则由微电网中央控制器来完成。

由于整个风光储微电网实时仿真试验平台由不同类型模型组成，既有RTDS软件仿真模型，又有控制器在环仿真模型和功率硬件在环仿真模型，组合非常灵活多变。此外，微电网中央控制器与不同类型的模型通信采用两种方法，即与RTDS软件仿真模型的通信是通过硬接线的方式进行连接，而与控制器在环仿真模型和功率硬件在环仿真模型则是通过RS 485进行通信，如图5所示。

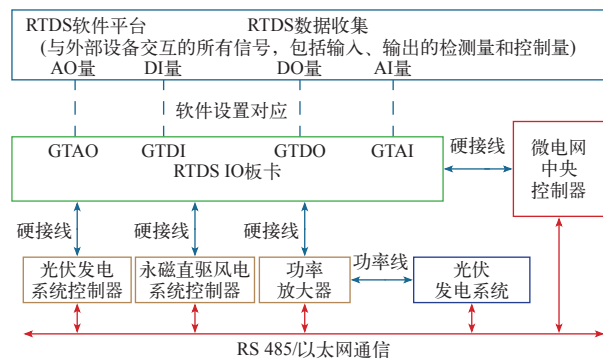


图5 系统通信框架

在风光储新能源微电网实时仿真试验平台中，光伏发电系统采用控制器在环仿真模型和功率硬件在环仿真模型两种类型，两者与微电网中央控制器通过RS 485进行连接；永磁直驱风力发电系统为控制器在环仿真模型，与微电网中央控制器也采用RS 485进行通信；而由于储能系统和负荷都为RTDS软件模型，其与微电网中央控制器通过硬接线方式进行连接。微电网中央控制器在

执行微电网系统协调控制策略时，将会通过以上两种方式向各单元发送控制指令，从而实现对整个微电网的安全、稳定控制。

3 自治控制策略

微电网离网运行控制策略主要是用于实现微电网离网运行时的能量平衡控制，以保证微电网的安全、稳定运行。微电网离网运行控制策略如图6所示。

微电网在离网运行时，储能作为主电源，为整个微电网提供电压和频率参考；光伏发电系统和风力发电系统作为发电单元，为负荷提供电能供应；在整个离网运行过程中，光伏发电系统和风力发电系统会根据负荷的功率需求工作在不同的模式，当光伏发电系统和风力发电系统功率能够满足负荷需求时，由光伏发电系统和风力发电系统向负荷供电，当光伏发电系统和风力发电系统功率不满足负荷需求时，由储能系统提供其余能量供应；当储能系统、光伏发电系统和风力发电系统总能量不能满足负荷需求时，需要切除部分次要负荷，以使微电网系统能够离网正常运行。

4 仿真分析

4.1 负荷突变试验

微电网离网允许时，负荷突变试验响应如图7所示。图7中，从上至下依次为微电网母线三相电压、储能系统输出功率、光伏系统输出功率、永磁风机输出功率及负荷功率响应波形。开始时，储能系统充电功率为20 kW，光伏发电功率为24.3 kW，永磁直驱发电功率为0.7 kW，负荷用电为5 kW，系统处于平衡状态。在2 s时，负荷由5 kW突增至18 kW，由于光伏和风机的反应速度较慢，而储能系统的反应速度较快，所以此时储能系统的输出功率会迅速由充电20 kW变化为充电7 kW；在6.6 s时，光伏输出功率由24.3增加到29.8 kW，为了维持系统的能量平衡，储能系统的充电功率由7 kW变化为12.5 kW，以维持系统能量的平衡。由此可知，在负荷变化的过程中，微电

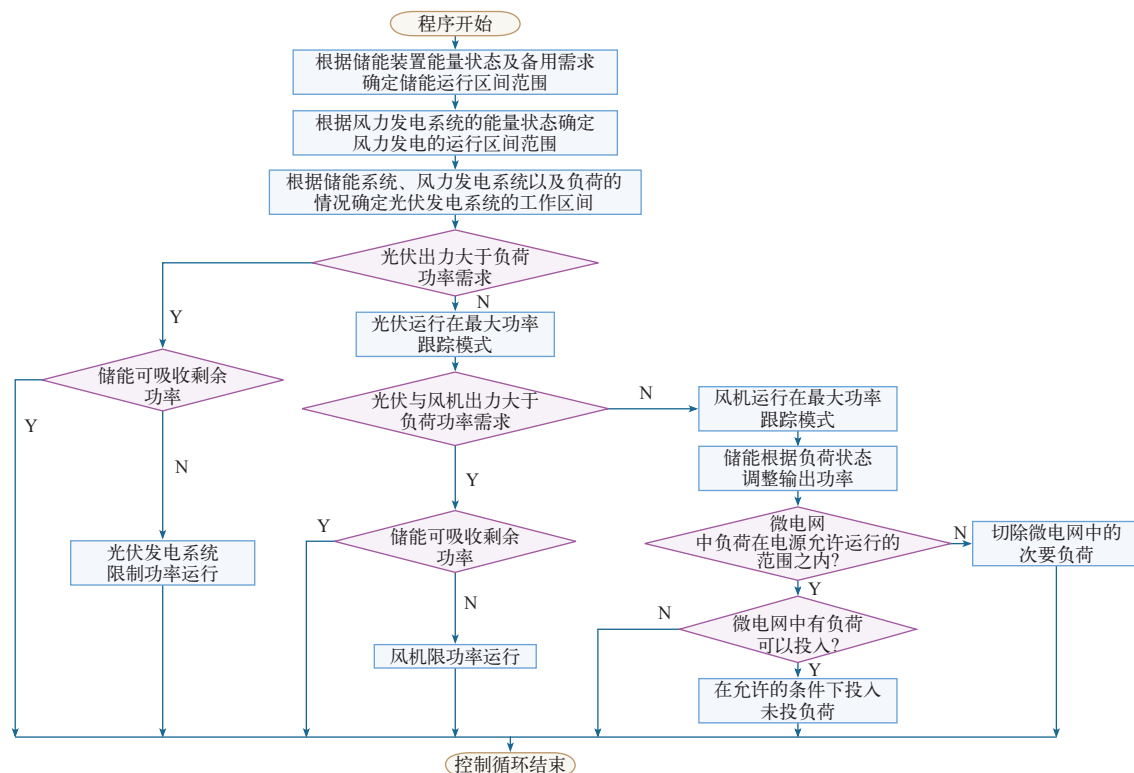


图6 微电网离网运行控制策略

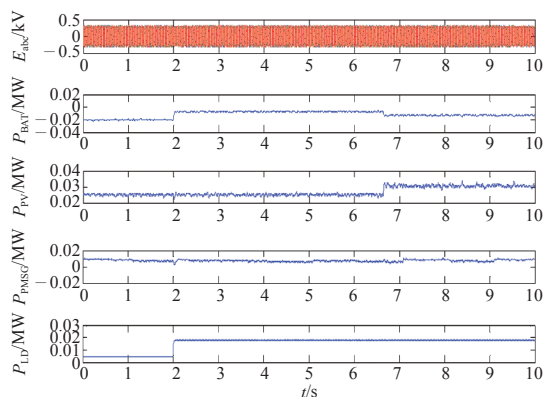


图7 微电网离网负荷突变试验

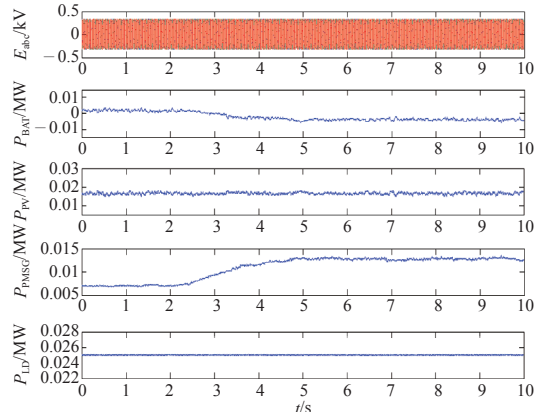


图8 微电网离网风速突变试验

网控制器会对微电网内的微电源进行调节, 以实现整个微电网的能量平衡, 从而维持微电网的安全稳定运行。

4.2 风速突变试验

微电网离网运行时, 风速突变试验响应如图8所示。图8中, 从上至下依次为微电网母线三相电压、储能系统输出功率、光伏系统输出功率、永磁风机输出功率及负荷输出功率响应波形。开始时, 储能系统输出功率为1.8 kW, 光伏系统输出功率为16.2 kW, 永磁风机输出功率为7 kW, 负荷用电为

25 kW, 系统处于平衡状态。在2.4 s时, 风速由8 m/s突变为10 m/s, 永磁风力发电机的输出功率由初始的7 kW逐渐增大至12.6 kW, 相应的储能系统的输出功率由1.8 kW逐渐变化为3.8 kW, 整个微电网系统还是处于平衡状态。仿真结果验证了微电网控制器离网控制策略的正确性。

4.3 光照强度突变试验

微电网离网运行时, 光照强度突变试验响应如图9所示。图9中, 从上至下依次为微电网母线三相电压、储能系统输出功率、光伏系统输出

功率、永磁风机输出功率及负荷输出功率响应波形。开始时,储能系统充电功率为10 kW,光照强度为 700 W/m^2 ,光伏系统输出功率为25 kW,永磁风机发电系统未起动,输出功率为零,负荷用电为15 kW,系统处于平衡状态。在2.2 s时,光照强度由 700 W/m^2 突变为 $1\,000 \text{ W/m}^2$,光伏系统的输出功率由25 kW增加至30 kW。为了实现系统能量平衡,储能系统充电功率将由10 kW变为15 kW,整个调节过程微电网可实现稳定运行。仿真结果验证了微电网控制器离网控制策略的正确性。

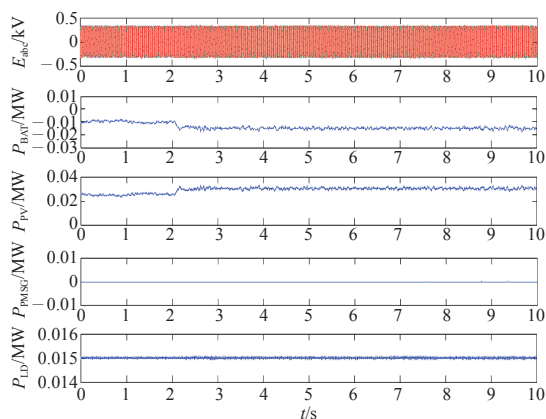


图9 微电网离网光照强度突变试验

5 结束语

基于所建立的风力发电系统、光伏发电系统和储能系统RTDS单体实时仿真模型,搭建了风光储新能源微电网实时仿真试验平台,提出了微电网控制系统的离网运行控制策略,并基于微电网实时仿真试验平台进行了控制策略的测试,测试结果验证了所提控制算法的正确性和有效性。所建微电网实时仿真试验平台可为风光储新能源及微电网的研究提供平台支撑。

参考文献

[1] 刘光煜. 智能电网分布式发电浅谈及电动汽车应用[C]. 2013电力行业信息化年会, 2013.

[2] 杨新法, 苏剑, 吕志鹏, 等. 微电网技术综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 57-70.

[3] Arriaga M, Cañizares C A, Kazerani M. Renewable energy alternatives for remote communities in

Northern Ontario, Canada [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2013, 4(3): 661-670.

[4] Lukuyu J. Wind-diesel microgrid system for remote villages in Kenya [C]. IEEE North American Power Symposium Conference, 2012: 1-6.

[5] 李培强, 刘志勇, 李欣然, 等. 应用综合控制策略的微电网建模与仿真[J]. 高电压技术, 2011, 37(10): 2356-2362.

[6] 贺鹏, 艾欣, 徐虹. 微电网经济运行研究综述[J]. 现代电力, 2012, 29(4): 1-6.

[7] 刘琳娜, 王耀. 分布式发电及微网控制模式研究[J]. 电力系统装备, 2012(8).

[8] 杨阳, 蔡旭. 基于RTDS风光储微网协调控制仿真研究[J]. 可再生能源, 2014, 32(2): 158-162.

[9] 刘一欣, 郭力, 李霞林, 等. 基于实时数字仿真的微电网数模混合仿真实验平台[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 82-92.

[10] 李少华, 张爱玲, 张崇见, 等. 双馈式风电场暂态电压控制系统及其RTDS试验[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(9): 137-142.

[11] Han J, Prigmore J, Wang Z, et al. Modeling and coordinated controller design of a microgrid system in RTDS [C]. Power and Energy Society General Meeting, 2013: 1-5.

[12] Wang G, Gao W. Real time simulation for wind power generation system using RTDS [C]. North American Power Symposium, 2008: 1-6.

[13] 朱兰, 严正, 杨秀, 等. 风光储微网系统蓄电池容量优化配置方法研究[J]. 电网技术, 2012, 36(12): 26-31.

[14] Logenthiran T, Srinivasan D, Khambadkone A M. Multiagent system for real-time operation of a microgrid in real-time digital simulator [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(2): 925-933.

[15] 郑飞, 张军军, 丁明昌. 基于RTDS的光伏发电系统低电压穿越建模与控制策略[J]. 电力系统自动化, 2013, 36(22): 19-24.

(收稿日期: 2015-12-30) **EA**