

风光互补独立发电系统的PLC控制与能量优化管理

为充分利用风能和太阳能资源,解决一些缺电和少电地区的用电问题,在研究风能和太阳能发电机理的基础上,设计了一个风光互补的独立发电系统,采用S7-300西门子PLC技术实现了对风力发电系统、光伏发电系统的最大功率跟踪控制和负荷功率跟踪控制,并对系统能量进行了优化管理。该系统应用于黄河下游的偏远管理班,不但有效解决了用电问题,还取得了良好的经济效益。

李小雄/黄河水利职业技术学院 李 瑞/开封市电业局



李小雄/副教授

虽然我国电力行业极其发达,电网覆盖面非常广,但无电户依然有很多。据世界能源会议组织调查结果显示,至2005年,我国有700万个无电户,约3 000万人居住在无电地区。

为无电地区的居民建设供电系统时,在供电方案的选择和实施上要有良好的创新思路,尽量节约不可再生能源。对一些偏远地区,采用电网延伸的方案为无电用户解决用电问题是不可取的,因为这些用户的用电负荷小,输电线路长,输配电的投资成本高,而且线路维护、线路及变压器的损耗等费用大,这是很不经济的,所以对远离电网的偏远地区居民就地利用自然资源建立独立供电系统是一种非常理想的方式。

风光互补发电系统

虽然偏远地区地处电网的盲点,经济非常落后,但是那里往往资源非常丰富,尤其是太阳能和风能,利用当地的自然资源建立一个独立的新能源供电系统是解决当地居民用电问题的最佳方法。

图1为风光互补发电系统的原理图,该系统主要由两个子系统组成:一个是小型风力发电子系统,其中风机采用垂直风机,利用风能发出三相交流电,经整流桥将交流变成直流,后再经DC-DC变换器获得48 V的稳定直流电;另一个是光伏发电子系统,该系统中的太阳能电池板将太阳能变成电能,并经DC-DC变换器获得所需要的直流电。风力发电子和光伏发电子系统经直流母线并联运行,向负载(交流负载经逆变器)和蓄电池供电,两个发电子系统可以同时也可以单独向负载供电。

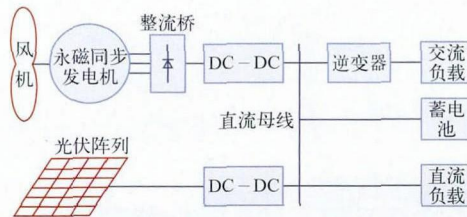


图1 风光互补发电系统主电路原理图

系统能量优化控制

一般来说,风光互补独立发电系统都是比较小型的供电系统,配置的风机和太阳能电池板都比较小,作为该系统的两个独立电源,工作时所产生的功率都不大。因此,对该系统的能量必须进行优化管理,对系统中的各组成部分必须进行合理控制,这样才能充分利用资源,降低系统配置的总造价,同时,又能有效地保护系统中各主要元件及设备。

风光互补发电系统将弥补单一风力发电或光伏发电的缺陷,能按照当地气

关键词/Keywords

风光互补独立发电系统 ·
西门子PLC技术 ·
最大功率跟踪控制 ·
能量优化管理 ·

象条件的变化，两个子系统相互协调，互相配合发电。风力发电机输出功率 P_w ，光伏电池输出功率 P_s ，以最大限度地满足负载消耗功率 P_l 。控制方

式选择与能量管理如表1所示。则该系统的运行状态如下所示：

1) 在无太阳而有风的情况下，风力发电系统

表1 控制方式选择与能量管理表

气象条件	工作状态	供电电源	功率平衡状况	电源控制方式	蓄电池控制方式
无阳光有风	1	风力发电机	$P_w < P_l$	最大功率跟踪控制	放电控制
			$P_w > P_l$	负载功率跟踪控制	充电控制
有阳光也有风	2	太阳能电池组、风力发电机	$P_s + P_w < P_l$	最大功率跟踪控制	放电控制
			$P_s + P_w > P_l$	负载功率跟踪控制	充电控制
有阳光无风	3	太阳能电池组	$P_s < P_l$	最大功率跟踪控制	放电控制
			$P_s > P_l$	负载功率跟踪控制	充电控制
无阳光也无风	4	蓄电池	$P_b = P_l$	停止	放电控制

单独供电。

2) 在既有太阳又有风的情况下，风力发电系统和太阳能发电系统同时供电。

3) 在有太阳无风的情况下，太阳能发电系统独立供电。

4) 而在无太阳也无风的情况下，蓄电池进入放电模式。

为维持该系统的电压稳定，保证系统的供电质量，本系统能量必须保持平衡关系，即电源发出的功率将与负载的需求相等。并且，两个独立电源在不同的运行状态下将分别采用最大功率跟踪控制和负载功率跟踪控制两种不同的控制方式。

系统的功率控制

1. 风力发电系统的功率控制

为有效利用风能，并切实保护风机，风力发电系统根据风能的大小和负载的变化在系统不同的运行状态下分别采用三种控制方式：最大功率跟踪控制（MPPT控制）、负载功率跟踪控制和超速保护。

当风机输出能量 P_w 小于负载所消耗的 P_l 时，采用最大功率跟踪控制方法。控制器首先采集风机侧电压 U_w 和电流 I_w 值，并计算风力发电机的实际功率 P_w 。同时，也采集负载侧的电压 U_l 和电流值 I_l ，并计算负载消耗的功率 P_l ，然后比较风力发电机功率与负载功率（相减），控制器根据误差的正负

性，产生脉冲宽度可调的PWM信号，以控制DC-DC变换电路中开关管的导通和关断，从而调节DC-DC变换器的占空比进行阻抗变换，实现最大功率跟踪。图2为最大功率跟踪控制框图。

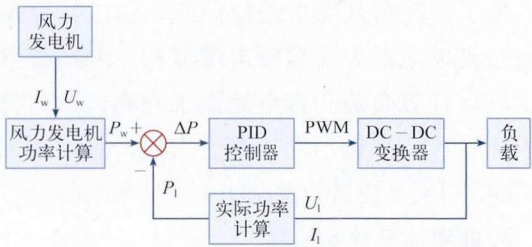


图2 最大功率跟踪控制框图

当风力发电机输出能量多于负载和蓄电池吸收的总能量时，将采用负载跟踪控制模式调节系统功率输出，即控制器计算负载电流 I_l 与蓄电池 I_b 的最大接受电流之和，并将此值作为给定输入与DC-DC变换器的电流 I_w 进行比较，将其误差送入PID控制器调节后产生PWM信号来调节DC-DC变换器的占空比，从而实现负载跟踪控制。图3为负载跟踪控制框图。

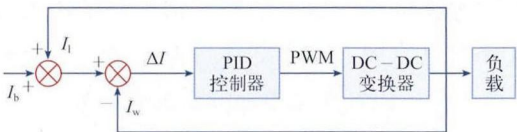


图3 负载跟踪控制框图

当遇到大风或负载较轻时，发电机发出的功率大于负载消耗的功率，从而打破了能量的平衡

关系,机组的转速将升高并且超过所设定的极限值,此时系统将逐级接入耗能负载,限制转速上升,这就是超速保护。

2. 光伏系统功率控制

根据负载和光照条件,光伏发电系统分别采用最大功率跟踪控制(MPPT控制)和负载跟踪控制两种方式。其中最大功率跟踪控制使用扰动观察法,本文用控制器产生脉冲宽度可调的PWM信号去调节DC-DC变换器的占空比,从而调节光伏阵列的输出功率 P_s ,即控制器选择初始占空比作为参考值,并测量对应的输出功率,然后在参考占空比上增加小扰动信号,同时检测输出功率的变化,根据功率变化方向决定下一步的扰动方向。如果本次调节导致输出功率增加,下次扰动方向不变;否则改变扰动方向,这个过程重复进行直到系统最终抵达最大功率点。

为了实现负载功率跟踪控制,通过计算负载电流与蓄电池最大可接受电流之和,并结合母线电压值,计算负载和蓄电池需求功率,然后将此值作为光伏阵列输出功率的设定值,利用控制器调节DC-DC变换器的占空比实现功率平衡。

3. 蓄电池充放电控制

在风光互补发电系统中,蓄电池的使用寿命影响着发电系统的使用成本,而影响蓄电池的使用寿命的因素是蓄电池的充电过程,为了降低发电系统的使用成本,延长蓄电池的使用寿命必须对蓄电池的充放电进行有效控制。

本文采用三段式法对蓄电池进行充电控制。在充电第一阶段,对蓄电池进行恒定的电流充电,即采用蓄电池能够接受的最大允许充电电流进行加速充电,使电池电压快速上升。当蓄电池电压至电压阈值时(浮充电压);进入第二阶段即恒压充电阶段。这一阶段采用恒定电压进行充电直到充电完成,充电完成后进入第三阶段即涓流充电阶段,以补充蓄电池的自放电损失。

蓄电池放电控制采用回差电压控制法。当蓄电池端电压降低到过放保护电压时,切断负载供电回路。只有端电压再次上升到起动电压时才允许重新放电。

风光互补控制系统设计与实现

风光互补控制器是风光互补独立电源系统的核心部分,它将风力发电机输出的不稳定交流电和太阳能电池板输出的不稳定直流电转换为稳定的直流电提供给蓄电池和负载,同时控制蓄电池的充放电方式和负载的工作模式,实现蓄电池科学的充放电管理。本文采用模块化设计思想对风光互补控制器进行设计,将整个电路划分为5个控制模块:风机的MPPT控制模块、太阳能MPPT控制模块、负载控制模块、蓄电池充放电控制模块和保护模块。

采用西门子S7-300系列的可编程序逻辑控制器(PLC)作为核心控制器硬件,硬件结构如图4所示。控制器经过检测电路获得风光互补系统中各主要元件的电压信号和电流信号:例如风机的电压值和电流值、太阳能电池组件的电压和电流值、母线电压值、直流负载的电流值、交流负载的电压和电流值及蓄电池的电压和电流值等。工作时,PLC控制器根据采集到的系统信号,以及预存在PLC中的控制软件对系统中的各个部件进行最大功率跟踪控制和负载功率跟踪控制,并对系统的能量进行优化管理。控制器利用PLC编程软件中的FB43功能模块产生PWM脉冲调制信号,以调节DC变换器的占空比,从而实现对风力发电机和太阳能电池板的最大功率跟踪控制。

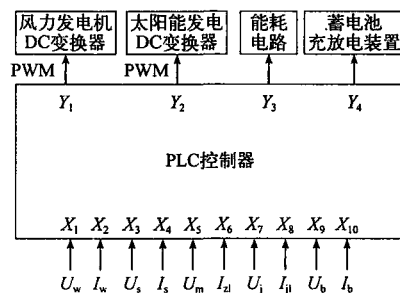


图4 风光互补控制系统硬件结构图

为充分利用风能和太阳能资源,实现对风光互补独立系统中最大功率的跟踪控制,并对整个系统能量进行优化管理和有效控制,系统软件自顶向下设计,其流程框图如图5所示。软件首先

分别采集太阳能发电系统的电压 U_s 和电流 I_s ，风能发电系统的电压 U_w 和电流 I_w ，负载的电压 U_l 和电流 I_l ，蓄电池的电压 U_b 和电流 I_b ，分别计算风能 P_w 、太阳能 P_s 和负载功率 P_l 。同时把软件系统划分为四个子模块，每一个模块具有自己的特定功能。其中，蓄电池控制模块采用三段式法实现对蓄电池的充电控制；风能最大功率跟踪控制（MPPT）模块采用PID控制器调节后产生PWM信号来调节DC-DC变换器的占空比控制方法，实现对风能最大功率的跟踪控制；太阳能最大功率跟踪控制（MPPT）模块采用扰动观察法实现对太阳能发电系统的最大功率跟踪控制；而负载功率跟踪控制模块也采用PID控制器产生脉冲宽度可调的PWM信号去调节DC-DC变换器的占空比，调节光伏阵列的输出功率 P_s ，从而实现跟踪控制。

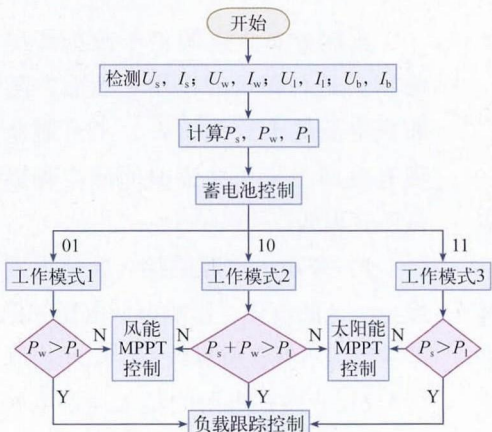


图5 风光互补控制系统程序流程图

软件流程图中定义了三种不同的工作模式：01为工作模式1；10为工作模式2；11为工作模式3。采用这三种工作模式就可实现对不同气候条件下系统中不同功率情况的比较和判断，从而方便又灵活地选择需要进行控制的模块子程序。其中，工作模式1是考虑在只有大风，没有太阳的天气情况下，对风能 P_w 和负载功率 P_l 大小进行比较和判断：如果风能大于负载功率 $P_w > P_l$ ，则程序还是进入负载跟踪控制模块，否则进入风能最大功率跟踪控制模块；工作模式2是考虑在既有太阳，又有风力的天气条件下，太阳能 P_s 和风能 P_w 之和与负载功率 P_l 大小的比较和判断：当 $P_s + P_w > P_l$ 时，

程序进入负载跟踪控制模块，否则分别进入风能最大功率跟踪控制模块和太阳能最大功率跟踪控制；而工作模式3是考虑在无风只有太阳的天气条件下，对太阳能功率 P_s 和负载功率 P_l 大小的比较和判断：当 $P_s > P_l$ 时，程序进入负载跟踪控制模块，否则进入太阳能最大功率跟踪模块。

应用实例

在黄河沿线有许多偏远的管理班，远离村庄，用电困难。架设市电投资较大，后期维护起来也较为不便。开封市黄河第一河务局为解决工作用电问题，采用了一套风光互补独立的发电系统：两台各60 kW风力发电机组，一个30 kW的光伏发电阵列，一个发电量80 kW·h的蓄电池。发电系统方案为本文设计模型，采用的控制方式和能量管理方法如文中所述，经过一段时间运行，优化结果如表2所示。

表2 系统优化运行结果及优化前成本比较

采样时间/天	系统负荷/kW·h	风机发电量/kW·h	光伏阵列发电量/kW·h	蓄电池发电量/kW·h	供电成本/元	优化前供电成本/元
1	20	20	0	0	18.42	48.68
6	29	29	0	0	23.75	55.69
11	46	33.5	12.5	0	43.05	57.35
15	54	34.5	19.5	0	55.75	62.35
18	48	34.5	20.5	-7	55.3	86.45
20	52	41	0	11	47.85	53.52
25	41	35	0	6	39.15	58.46

该风光互补发电系统既节省成本，又节约耗能，同时又为管理员的日常工作和生活提供便利。

结束语

综合利用风能和太阳能是目前国际能源发展的新趋势，也是目前合理解决边远山区缺电无电现象的关键。本文采用西门子公司S7-300 PLC作为该系统控制机构的中心控制器，能够合理调度系统能量流向，实现能量平衡，提高了系统的综合应用，降低了系统的整体建设和运行成本，有效地节约了资源。

（收稿日期：2015-02-10） EA