

风能是我国目前开发利用比较成熟的一种新能源,风电事业正在我国蓬勃发展。为了帮助读者了解风力发电知识,我们请长期从事风力发电研究工作的中国科学院电工研究所倪受元研究员撰写了《风力发电》讲座,以飨读者。

——编者

风力发电讲座

第五讲 风力发电机组的独立运行和互补运行

倪 受 元

风力发电最有希望的应用前景之一是把它用在无电网的地区,为边远的农村、牧区和海岛居民提供生活和生产所需的电力。由于风能的随机性和不稳定性以及负载情况的变化,使风电机组在独立运行时所要解决的技术问题,包括电能供求的平衡以及电能的质量等,比起并网运行来有更大的难度。本讲介绍风电机组常用的几种独立运行或与其它发电装置互补运行方式。

1 风力/柴油联合发电系统

目前,在大电网难以达到的边远或孤立地区,通常的办法是采用柴油发电机组来提供必要的生活和生产用电。由于柴油价格高,加之运输方面的困难,造成发电成本相当高,并且由于交通不便和燃料供应的紧张,往往不能保证电力的可靠供应。而这些边远地区特别是海岛大部分有较丰富的风能资源,随着风电技术的

日趋成熟,其电能的生产成本已经低于柴油发电的成本。因此,采用风力发电机组和柴油发电机组联合运行,为电网达不到的地区提供稳定可靠的、符合电能质量(电压、频率等)标准的电力,最大限度地节约柴油并减少对环境的污染,是世界各国在风能利用与开发研究中颇受瞩目的方向之一。特别是对发展中国家,由于电网尚不够普及,更具有广阔的应用前景。

现在世界上正在研究和运行的风力/柴油发电系统的类型很多,但一般说来,整个系统不外乎包括以下部分,即:风力发电机组、柴油发电机组、蓄能装置、控制系统、用户负载及耗能负载等,其基本结构框图如图1所示。下面重点介绍几种主要型式。

1.1 基本型风力/柴油发电系统及其改进型式

风力发电和柴油发电最简单的结合方法之一是让风力发电机组和现有的柴油发电机组并联运行,以降低柴油机的平均负载,从而节省燃料。图2示出这种系统的结构,风力驱动的感应发电机和柴油驱动的同步发电机并联运行。在这个系统中,柴油发电机组必须不停地工作,即使在负荷较小、风力较强时也必须运转,以便为风力发电机提供所需的无功功率。这种系统的优点是结构简单,可以向负载连续供电,缺点是节油率低,而且为了保证系统的稳定性,通常柴油发电机组的容量要比风电机组大很多,这样节油的效果就更差了。所以这种系统仅适用于相当稳定的负载。

上述系统的一个改进方案是在柴油机和同步发电机之间加一个飞轮和一个电磁离合器。当风力所产生的电能不能满足负荷的需求时,风力发电机和柴油发电机并联向负载供电;当风力足够大时,电磁离合器将柴油机与其驱动的同轴发电机断开,柴油机停止运行,而同步电机将作为同步调相机运行向风力驱动的感应

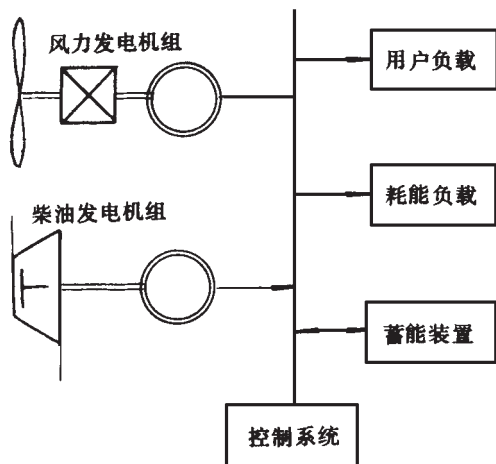


图1 风力/柴油发电系统的基本结构框图

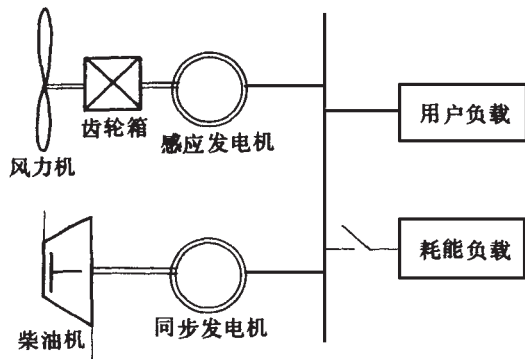


图2 基本型风力/柴油发电系统

发电机提供无功功率,其本身的有功损耗则由风力发电机供给。这时系统的频率由控制耗能负载来保持基本恒定。系统中的飞轮有助于柴油机断开后维持同步电机继续运转,另外也有助于柴油机的重新启动。改进后的系统由于柴油机可以停转,因此节油效果较前者为好。

1.2 交替运行的风力/柴油发电系统

图3示出风力发电机组与柴油发电机组交替运行的一种系统结构型式,系统中的风力发电机一般为同步发电机,在风力较大和风电机组单独运行的情况下,通过励磁调节和负荷调节来保持输出电压和频率基本稳定。由于风能的不稳定性,可以将负载按其重要程度分类,随着风力的大小,通过频率或速度传感元件给出的信号,依次接通或断开各类负载。在风速很低连第一类负载也不能保证供电时,则风电机组退出运行,同时柴油发电机组自动起动并投入运行。由于这种系统中风力发电机和柴油发电机在电路上没有什么联系,无需解决两者并联运行的一些技术问题,所以总体结构比较简单,同时风能可以得到充分利用,柴油发电机组的运转时间大大减少,因而节油率较高。缺点是在风力发电机和柴油发电机切换过程中会导致短时间供电中断,另外随着风力和负载的双重波动,可能造成柴油机频繁起停。

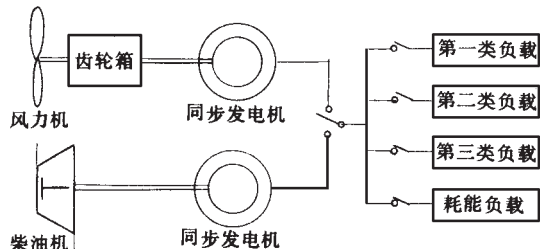


图3 交替运行的风力/柴油发电系统

为了减少柴油机的起动次数,措施之一是在图3所示系统中风力发电机轴上装一个飞轮,飞轮装在齿轮箱与同步发电机之间利用这个飞轮的惯性和短时蓄能

作用,还可以减少各类负载的开关次数。

1.3 具有蓄电池储能的风力/柴油发电系统

图4示出一台或多台风力发电机组与柴油发电机组联合运行的方案,在并联运行时,风力驱动的感应发电机由柴油机驱动的同步发电机提供励磁所需的无功功率,风力发电机和柴油发电机共同向负载供电。当风况很好或负载较小,风力发电机组足以提供负载所需的电能时,柴油机通过电磁离合器或超速离合器与同步发电机脱开停转,同步电机作调相机运行向风力发电机提供无功功率并进行电压控制,风力机的转速和功率控制采用快速变桨距方式,在风速很小或无风期时,则由柴油发电机组单独供电。

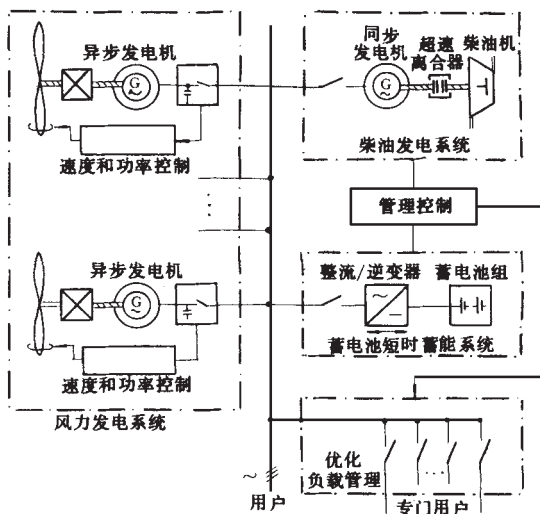


图4 具有蓄电池储能的风力/柴油发电系统

为了避免由于风力和负载的变化导致柴油机频繁起动,该联合系统中配备了小容量蓄电池组(其容量取决于当地风能资源条件和用户要求,一般相当于可按额定功率供电半小时~1小时),同时配置一个可逆的线路整流/逆变器,以便给蓄电池充电或蓄电池向独立电网补充输电。此外,蓄电池还可以减少柴油机的轻载运行,使其绝大部分时间运行在比较合适的功率范围内。

对于容量较大的风力/柴油发电系统,可采用多台风电机组的方案,这样可以减小风电机组总功率输出的波动幅度,同时蓄电池的容量也可以减小。

1.4 交/直/交型变速风力发电机组与柴油发电机组联合发电系统

图5示出这种风力/柴油发电系统的结构框图。系统中风力机驱动的发电机可以是同步发电机,也可以是感应发电机,经整流和逆变装置与柴油发电机并联运行,实现向负载连续供电。根据风力情况和负载大小,这种系统也可以有3种不同供电方式,即:风力发电

机单独供电、风力发电机和柴油发电机并联供电、柴油发电机单独供电。该系统的优点是风力机可以在变速工况下运行,从而可最大限度地利用风能,以节约更多的柴油。系统中的整流、逆变装置和蓄电池储能设备可以起到维持恒频输出和平衡功率的作用。这种系统的缺点是由于配置了容量与风力发电机组容量相当的整流、逆变设备,造价较高,在电能转换过程中也有一定的能量损失。

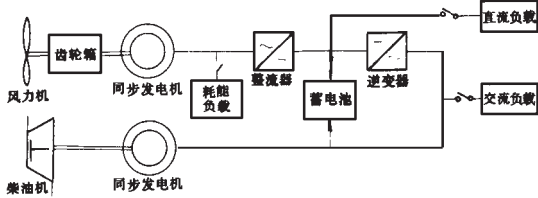


图5 交/直/交型变速风力发电机组
与柴油发电机组联合发电系统

1.5 磁场调制型变速风力发电机组与柴油发电机组联合发电系统

图6示出磁场调制型变速恒频风力发电机与柴油发电机联合运行的系统框图。风力驱动的磁场调制发电机的励磁可以取自柴油发电机的输出,与第四讲第2节所述的该发电系统的并网运行相类似,通过励磁变压器将柴油发电机各相输出电压进行适当的相位相加,即可得到一组领先系统输出电压 90° 的三相励磁电压。在这种情况下,风力发电机的输出总是自动与柴油发电机输出同步,不需要专门的控制,不存在失步问题,整个系统的控制非常简单。

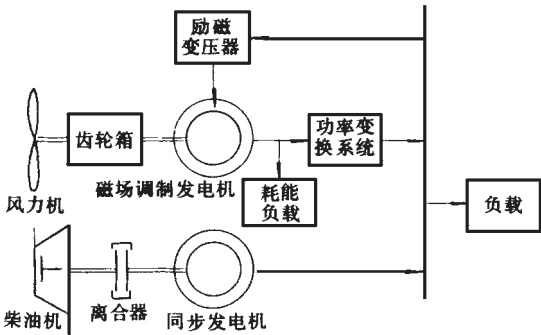


图6 磁场调制型变速风力发电机组
与柴油发电机组联合发电系统

当风况很好风力发电机足可提供负载所需的电能时,柴油机通过电磁离合器与其驱动的同步发电机脱开停车,同步机作调相机运行供给磁场调制发电机励磁所需的无功功率,同时控制它的输出电压和频率。

这种系统除了可以获得风力机变速运行增加能量输出的好处外,由于磁场调制发电机从工作原理上保证了其输出与供给其励磁的柴油发电机输出同步,所

以并联运行时基本上不需要什么控制,且并联系统非常可靠,即使在风速大幅度变化或柴油发电机转速、电压波动的情况下,仍可以稳定、安全地并联运行。

1.6 风力/柴油联合发电系统的实用性评价

上面介绍了一些风力/柴油发电系统,但如果说哪一种系统模式是普遍适用的最佳设计,那将会使人产生误解。最佳设计在很大程度上取决于用户的不同需要和当地的风力资源条件,一种系统对某种用户可能是最合适的,但不可能对所有地方都是最佳的。如何评价系统的实用性,应根据具体的资源及负载情况从以下三方面来考虑:

1 节油效果 建立风力/柴油发电系统的一个目的就是节约柴油,所以节油率是衡量一个风力/柴油发电系统是否先进的重要指标之一。20世纪80年代初的风力/柴油发电系统,特别是柴油机必须不停地连续运行的系统,节油率是很低的。从80年代中期起,由于系统中逐渐增加了蓄能设施,风能的利用率有了很大提高,系统的节油率普遍上升,到90年代初已达到40%~55%,目前有的系统节油率达到70%以上。

2 可靠性 对一个节油效果较好的风力/柴油发电系统来说,风电容量一般约占总的系统容量50%以上,而风速变化的随机性很大,风电功率变化相当频繁,且幅度很大。在并联运行中,系统能否承受这种频繁的大幅度的冲击,达到稳定运行,以提供可靠的电能,是风力/柴油联合发电系统成功的技术关键。

3 经济性 经济性是人们极为关注的问题之一,不同的系统模式不能用同一的节油率指标来衡量系统经济性的优劣。系统的经济性除与选择的系统模式有很大关系外,还与风能资源、负载性质与大小、风电机组与柴油机组和蓄电池组的容量比例等有很密切的关系。例如蓄电池容量过大,虽然提高了风能利用率,减少了柴油机起停次数,但设备费用和运行维护费用增加;反之则风能利用率降低,柴油机常处于低负荷、高耗油率运行工况,同样加大了供电成本。因此,对不同的风力/柴油发电系统,应以系统的综合供电成本来评价它的经济性。供电成本低的系统显然是良好的系统。

2 风/光联合发电系统

2.1 风/光互补联合发电的优点

风能、太阳能都是取之不尽用之不竭的清洁能源,但它们又都是不稳定、不连续的能源,单独用于无电网地区,需要配备相当大的储能设备,或者采取多能互补的办法,以保证基本稳定的供电。风/光联合发电即是一种多能互补的发电方式,特别是我国属于季风气候区,一般冬季风大,太阳辐射强度小,夏季风小,太阳辐射强度大,正好可以相互补充利用。

风/光联合发电比起单独的风电或光电来有以下优点:

1) 利用风能、太阳能的互补特性, 可以获得比较稳定的总输出, 系统有较高的供电稳定性和可靠性。

2) 在保证同样供电的情况下, 可大大减少储能蓄电池的容量。

3) 对混合发电系统进行合理的设计和匹配, 可以基本上由风/光系统供电, 很少或基本不用启动备用电源如柴油发电机等, 并可获得较好的社会效益和经济效益。

所以综合开发利用风能、太阳能, 发展风/光互补联合发电有很好的应用前景, 受到很多国家的重视。下面介绍一种类型比较先进的风/光联合发电系统。

2.2 交/直/交型变速风电机组与太阳光电联合运行

图7示出我国建造的30kW 风/光互补联合发电系统的组成。整个系统包括5台5kW 风力发电机组, 5kW_p 太阳能电池阵列, 220kWh 固定型铅酸蓄电池, 30kW 三相正弦波逆变器, 30kW 备用柴油发电机以及风电、光电控制系统, 配电柜和数据采集与处理系统等。

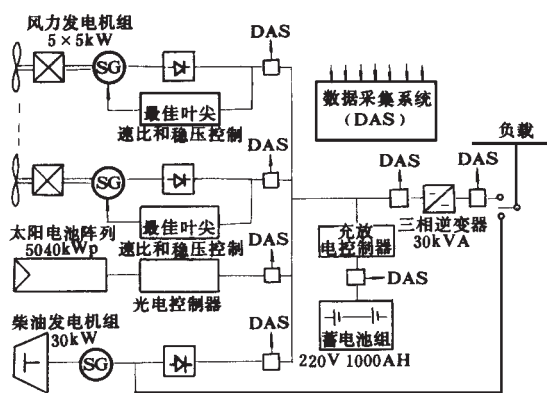


图7 我国30kW 风/光互补联合发电系统

5台风电机组中的发电机均为无刷励磁爪极发电机, 机组采取变速运行方式, 通过各自的整流器及公用的逆变器向负载供电, 在直流环节将多余的电能向蓄电池充电。当蓄电池没有充满且风速在额定风速以下时, 风力发电机组采用最佳叶尖速比控制, 使风力机在很大的风速范围内以最佳效率运行, 从而可最大限度地利用风能; 当蓄电池接近充满, 电压达到设定的最高充电电压时, 风力发电机自动转为稳压控制运行, 这样既可使蓄电池继续充电, 又保护了蓄电池不致过充。

太阳能电池阵列由5kW_p 单晶硅电池组件组成, 分为5个子阵列并联向蓄电池充电, 各子阵列的通断采用无触点固态器件控制。在蓄电池接近充满时, 通过依次关断部分子阵列保证蓄电池端电压不超过最高设定值, 风、光系统在直流环节并联后, 通过三相逆变器转

换成恒频恒压交流电供给负载。逆变器采用大功率晶体管脉宽调制方案, 在蓄电池电压降到设定的过放值时自动关断, 保护蓄电池不致过放。在风、光不能满足负载要求且蓄电池已接近过放值时, 由备用的柴油发电机组向负载供电, 同时向蓄电池补充充电, 数据采集和处理系统可实时地显示系统各部分的运行状态, 并可贮存3个月的运行数据。

此外, 还有采用感应发电机的恒速风电机组与太阳光电联合运行, 本文在此不作详细介绍。

3 风力发电机组的独立运行

风力发电机组独立运行是一种比较简单的运行方式, 但由于风能的不稳定性, 为了保证基本的供电需求, 必须根据负载的要求采取相应的措施, 达到供需平衡。下面介绍风力发电机几种独立运行供电方式。

3.1 配以蓄电池储能的独立运行方式

这是一种最简单的独立运行方式, 如图8所示。对于10kW 以下的小型风电机组, 特别是1kW 以下的微型风电机组普遍采用这种方式向用户供电。

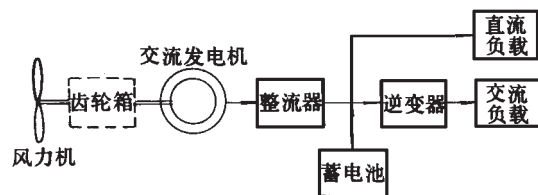


图8 风电机组配以蓄电池储能的独立运行系统

对于1kW 以下的微型机组一般不加增速器, 直接由风力机带动发电机运转, 后者一般采用低速交流永磁发电机; 1kW 以上的机组大多装有增速器, 发电机则有交流永磁发电机、同步或异步自励发电机等。经整流后直接供电给直流负载, 并将多余的电能向蓄电池充电。在需要交流供电的情况下, 通过逆变器将直流电转换为交流电供给交流负载。风力机在额定风速以下变速运行, 超过额定风速后限速运行。

对于容量较大的机组(如20kW 以上), 由于所需的蓄电池容量大, 投资高, 经济上不是很理想, 所以较少采用这种运行方式。

3.2 采用负载自动调节法的独立运行方式

由于输入风力机的风能与风速的三次方成比例, 其输出功率也将随风速的变化而大幅度变化。因此独立运行的关键问题是如何使风力发电机的输出功率与负载吸收的功率相匹配。为了更多地获取风能, 同时也为了使风力发电机组能在安全的转速下运行, 需要在不同的风速下接入数量不同的负载, 这就是本方案基本的控制思想。图9示出这种方案的系统框图, 系统中风力机驱动同步发电机, 其输出电压可通过调节发电

机的励磁进行控制,使风力发电机在达到某一最低运行转速后维持输出电压基本不变。风力机的转速可以通过同步发电机的输出频率来反映,因此可以用频率的高低来决定可调负载的投入和切除。

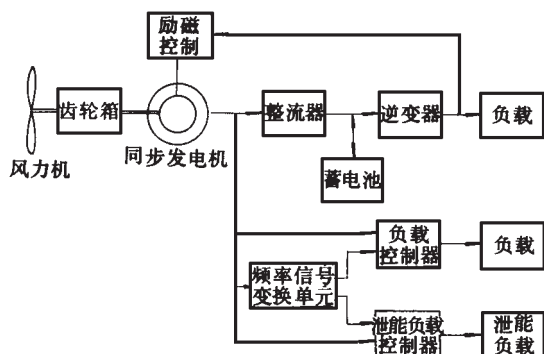


图9 采用负载自动调节法的独立运行系统

转速控制可以采取最佳叶尖速比控制和恒速控制两种方案。在采用最佳叶尖速比控制方案时,通过调节负载使风力机的转速随风速成线性关系变化,并使风轮的叶尖速度与风速之比保持一个基本恒定的最佳值。在此情况下,风力机的输出功率与转速的三次方成比例,风能得到最大程度的利用。为了保证主要负载的用电及供电频率的恒定,在发电机的输出端增加了整流、逆变装置,并配备少量蓄电池。该蓄电池的存在不仅可以在低风速或无风时提供一定量的用电需求,而且还在一定程度上起缓冲器的作用,以调节和平衡负载的有级切换造成的不尽合理的负载匹配。从发电机端直接输出的电能,其频率随转速而变化,可用于电热器一类的负载(如电供暖、电加热水等),同时这类负载和泄能负载一起均可作为负载调节之用。在采用恒速控制方案时,可以不需要整流、逆变环节,通过负载控制和风力机的桨距调节维持转速及发电机频率的基本恒定。采用这种方案整个系统投资较少,但风能的利用率及对主要负载的供电质量和供电稳定性不如前者。

显然,采用负载调节的运行方式时,负载档次分得越细,风轮运行越平稳,频率稳定度也越高。但由于受经济条件和使用情况这两个因素的制约,不可能完全做到这一点。折中的办法是根据当地的风力资源和负载对供电的需求情况,确定负载档数、每档功率大小及优先投入或切除的顺序。

此外,还有多台风力发电机组并联运行的独立供电系统。

主要为较大的用户供电,应尽可能采用快速变速和控制功率的变桨距风电机组。这种联合系统除可增加风能利用率外,另一个最大的优点是能在几秒钟内更好地平衡因风力波动而引起的输出功率变化。

能源宝库——地热能

冰 河

长期以来,科学家对地热能开发利用作了不懈努力,但直到科学发达的今天,人类对地热能的利用尚处于取其地表热能的自然利用状态,有人设想用钻井的方法接近软流层,让高温岩浆人为喷发,再利用它蒸发海水得到的高温蒸汽发电,但没有取得令人满意的结果。

我国地热点多且品质高,从已发现的2000多个地热蒸汽资源点来看,150℃以上的高温地热蒸汽地点主要分布在西藏南部、云南西部和台湾等地。台湾马槽地区一勘探井温度高达193℃,是我国目前发现的最高地热点。云南腾冲热海地热点距地表12m便可得到145℃的热水。西藏羊八井地热点钻井的最高水温有171℃。温度在100℃以下的中低温地热点分布更为广泛,但主要集中在东南沿海各省、山东半岛和辽东半岛等地。

合理开发利用地热资源的作用和效益都是可观的:它可以节约大量的能源,减轻环境污染。人们可以将地热水通过热交换器供住宅采暖或生活用热水等。

在农业上,各地利用地热水进行大量对比实验,取得了良好的效果。湖南省宁乡县用地热水培育良种,大大加快了育种周期。同时,用地热水养殖水浮莲、红萍、绿萍等饲料,产量高、生长快。陕西临潼水产工作站用地热水进行高密度养鱼实验,获得每亩年产4万斤的好效益。福建农科院地热农业利用研究所利用地热水孵化箱进行小鸡孵化对比实验,地热水孵化小鸡优于电热箱。地热水几乎可以用于各种工业过程,如预热干燥、印染、制革、制冷、空调、发电等。福州市地热研究所为地热能利用开辟了一条新路。他们用87℃、8.5吨/小时流量的热水,每天可制冰4吨,并向一座50平方米、保持恒温-12℃的100吨冷库和一座同样大小的蔬菜保鲜库提供冷气,剩余水还可供应附近农业温室和养鱼,一举多得。西藏羊八井地热电站,总装机容量2.5万千瓦,是我国最大的地热电站。