

基于架空地线耦合取能电源系统的技术研究

随着我国对智能电网建设和电力设备状态检修要求的提出,输电线路在线监测技术近年来取得了较大的发展。特别是 2008 年全国大面积冰灾发生后,相关管理部门更是加大了对输电线路状态监测智能化改造的力度。截至 2014 年底,国内输电线路在线监测装置已安装十万套左右。这些装置在为输电线路的设备状态检修工作提供有效的技术支撑的同时,也暴露出了很多问题。根据中国电力科学研究院的统计,目前国网范围内所安装的输电线路在线监测装置中只有 20%能正常运行。在故障设备中,绝大部分是由于电源故障所引起的。对一种新型的供电方式——架空地线耦合取能技术进行了研究,建立了一套基于架空地线耦合取能的电源系统,为在线监测技术、电网状态检修的发展提供了强有力的电源技术保障。

姚磊/国网北京市电力公司

0 引言

本文首先介绍了架空地线耦合取能的技术背景,研究了国外、国内关于架空地线耦合取能所获得的成果。然后,详细阐述了该电源系统的主要研究内容、关键技术点、研究前景和重要意义。研究内容包括取电问题、数据通信问题和电源系统的防雷保护等,若实现并应用此电源系统为输电线路在线监测设备供电,将使输电线路在线监测系统设备的取能方式摆脱了传统的必须依靠蓄电池进行储能模式,对在线监测设备的广泛应用带来深远影响。最后,介绍了整个系统的构成、工作原理、接线方式以及电源安装说明,并论证其功率输出足以支撑现有任何一种输电线路在线监测系统的工作。

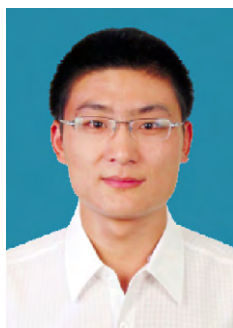
1 研究背景

目前输电线路在线监测装置所采用的供电模式几乎均为“光伏板+蓄电池”。光能的获取受环境的影响很大,在雨雪、大雾等光照不足的天气下,光伏板产生的电能不能满足设备正常工作需要。即便是在晴天,光伏板满负荷输出电能的时间也不超过 5 h。因此,不得不采用大容量的蓄电池,以保证在雨雪、大雾等光照不足的天气下,通过蓄电池为监测设备提供工作电能。从输电线路在线监测设备中普遍使用的铅酸蓄电池和镉镍蓄电池来看,蓄电池使用的平均寿命不到一年。其原因主要有以下几个方面:

1) 光伏板大电流充电缩短蓄电池寿命。由于太阳能供电属于间歇性供电,因此为了保证在长时间光能不足的情况下监测设备能满足 7×24 h 的工作要求,所采用的蓄电池容量都很大($100 \sim 200 \text{ A} \cdot \text{h}$),为了在短时间内把电池充满一般都会采用大电流充电,而经常性的大电流充电会造成蓄电池寿命的下降。

2) 长时间阴雨天气可能导致充电控制器无法起动。目前所有的充电控制器都是由蓄电池供电,当蓄电池电压低于 7 V ,充电控制器就会停止工作,在秋冬季节长时间阴天和光伏板覆冰、覆雪等光照不足的情况下,蓄电池电能将耗尽,即便过后光照充足充电控制器也无法为蓄电池充电。

3) 覆尘降低了光伏板取电效率。光伏板长期暴露在野外,表面覆尘越积越厚,将导致光伏板取电效率逐步



姚磊/工程师

关键词/Keywords

架空地线·
耦合·
取能·
电源系统·

降低，造成蓄电池长期欠充电，一旦遇到长时间阴天或雪覆冰，更易出现上述问题。

基于以上三方面原因，仅靠光伏板难以保证监测装置的长期可靠工作。因此，要想真正发挥输电线路在线监测装置的作用，必须为监测设备找到一种新的取电方式，这种方式要求电源不但要稳定可靠、安装方便而且成本要在合理的范围。通过获取地线系统中所感应的能量，从而得到一种不依赖蓄电池和太阳能板的、经济的和可靠的供能系统，是一个非常意义的研究课题和理想选择。

1.1 国外研究概况

国外在输电线路在线监测设备上的研究起步较早。早期也主要是采用光能、风能等自然能量，但后来在某些领域开始有公司尝试使用电流耦合取能，并取得了一些成果，就目前了解的情况基本上还是采用高压耦合取能的方式。其中以美国 USI-POWER 为代表的公司以高压电流耦合取电技术为基础开发了一些实用化的产品。图 1 和图 2 展示的是 USI-POWER 公司开发的 Power-Donut2 输电线路在线测量装置。系统构架如图 3 所示。

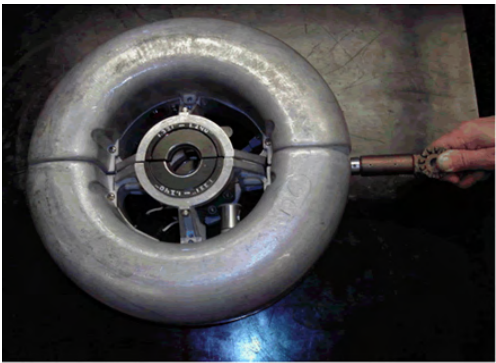


图 1 Power - Donut2 的外形结构



图 2 Power - Donut2 的安装使用

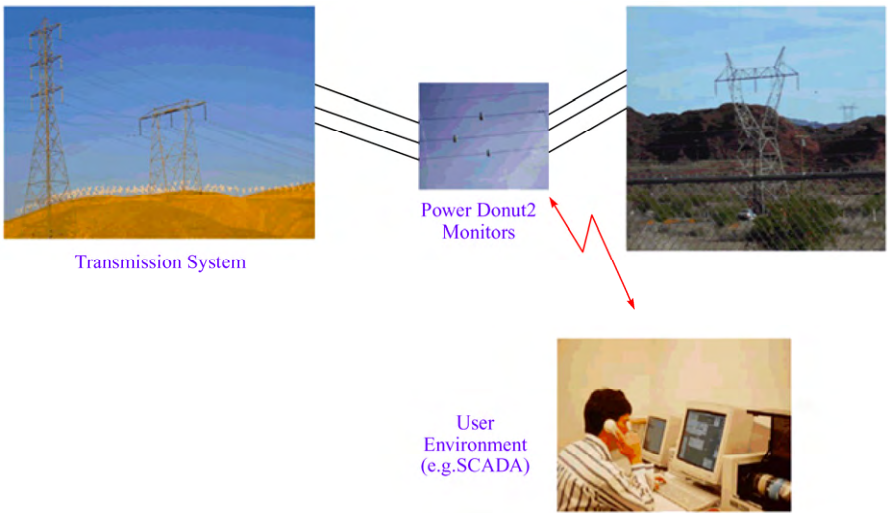


图 3 设备的系统构架

由该产品的相关资料可知，因为 Power-Donut2 可靠工作的最小一次电流为 50 A，所以当一次电流小于 50 A · h，Power-Donut2 通过内部的锂电池进行供电，电池可以支撑 12 h 的供电。Power-Donut2 和主站间采用 GSM 数据

通信，设备支持线路温度、线路倾角及线路电流等参数的测量，重量 10 kg。而且由图 1 可以看到 Power-Donut2 采用的是线路安装。

从上述技术参数可以得出以下结论，目前国外的基于耦合取电的线路测量设备已经进入了

实用化,但是还是具有以下不足:

1) 设备对一次电流的适应范围还有局限,最低电流只能到 50 A,在 50 A 以下则还是需要锂电池供电,并且要到 120 A·h 设备才能给锂电池充电,这使得设备的使用在一定层面上还是受到锂电池寿命的影响。

2) Power-Donut2 没有图像数据,说明其耦合功率的输出有限,不足以支撑图像数据的远程传输,这对于国内关注与线路的实时图像这种要求有所差距。

3) 设备重量过重,安装在输电线路容易对线路产生额外应力,有可能对线路安全造成影响。

4) 设备只能从高压侧取电,无法输送到杆塔上。

1.2 国内研究概况

国内在电流耦合取电技术上到目前为止也做过一些相应的研究,主要也是采用高压侧的耦合取电。其设备最小起动电流一般为 23~50 A,根据各个厂家自身产品的功耗和功能有所不同,设备最大适应长期工作的一次电流一般为 1 200 A 也有号称 1 500 A 的。其产品外形和安装如图 4 和图 5 所示。



图 4 国内高压耦合取电装置安装示意图 1



图 5 国内高压耦合取电装置安装示意图 2

从国内外文献来看,使用耦合取电技术的输电线路在线监测系统大多采用的是高压耦合的方式。而在防雷地线耦合取电技术方面的相关研究在国内尚属空白,国外在相关领域的文章也极少。因此,如果能在该项技术上取得突破,将为输电线路在线监测系统的推广应用开辟一个全新的局面。

2 研究内容及意义

2.1 研究内容

就国内目前输电线路状态监测系统的现状来看,主要针对于以下几个领域进行技术探索和改造:

1) 输电线路导线运行状态集成监测。主要是研制导线覆冰、微风振动、舞动、温度、风偏和弧垂等参数的自动化监测。

2) 输电线路气象在线监测。主要研究气象参数的多传感器融合,新型风速风向仪的应用技术及光纤传输技术,实现风速、风向、气温、湿度、气压、雨量和光辐射等参数的集中监测和高效传输。

3) 输电线路视频/图像的监测,主要研究输电线路视频装置的能源供给与控制技术,光纤通信技术,采用 OPGW 传输视频信号。

从实施情况来看取得了一定的效果,但是由于技术路线、成本控制和现场环境等原因的限制,还无法实现大规模推广应用。从技术上来讲主要瓶颈在以下几个方面。

(1) 监测设备的取电问题

以目前国内输电线路在线监测设备使用的比较多的铅酸蓄电池和镉镍蓄电池为例,理论其在正常使用(常温)的寿命为两年左右,并且蓄电池每次都能进行比较充分的充电和放电。但从目前国内所有使用太阳能供电的输电线路在线监测装置的实际使用情况来看,蓄电池的出现的问题比较多,其损坏率基本上都是设备在半年左右出现 20%左右的损坏率,其年损坏率在 40%~50%。往往在冬天正需要设备发挥功效的时候,设备却因为蓄电池的失效无法正常工作。

因此,就目前的情况来看基于光伏取电的输电线路在线监测设备安装得越多,对各使用该设备的电力公司来讲,其维护工作量就越大,维

护成本就越高。本来安装输电线路在线监测装置是为了减少人力、提高效率,但在目前的技术方案下就有可能出现需要大量的维护人力和成本。如果不想增加人力和维护成本,则安装的设备在经过一到两年的时间就有可能全都无法使用了。

综上所述,可以得出这个结论:在现阶段没有很好解决蓄电池在恶劣环境下,工作寿命短的情况下,任何采用间歇能源供电的输电线路在线监测系统都很难适应大规模推广应用。因此,要想真正发挥输电线路在线监测装置的作用,必须为监测设备找到一种新的取电方式,这种方式要求电源不但要稳定可靠、安装方便而且成本要在合理的范围。

(2) 数据通信问题

目前,输电线路在线监测装置的数据通信主要采用无线公网、光纤两种方式。无线公网由于其覆盖范围有限,在输电线路沿线的很多地方无法覆盖,并且目前来看在视频监控上由于带宽的限制,公网并不能很好解决视频数据传输的传输问题。光纤的带宽虽然足够,但是由于 OPGW 的开断点有限,并不是线路的所有监测点都能使用,并且光端设备对电源的需求较大,因此如果电源出问题光纤设备依然无法工作。除了上述两种方法外,还可以采用 WiFi 等现有通信技术实现数据在 10~20 km 的传输,但这同样需要可靠的电源支持。因此,作为目前输电线路在线监测系统的两大难题之一的通信问题,其归根结底上也是电源系统的问题。

(3) 电源系统的防雷保护

因为电源和地线相连,因此必须考虑在受到雷击时,如何保证电源系统不受到损坏。

(4) 电源系统的工作适应范围

在输电线路电流大范围波动时,需要控制耦合取电电源的输出电压的稳定。因为电源的输出是根据线圈的初级电压分布情况而确定线圈次级的匝数比,因此必然会出现设计时考虑小电流时能工作,则在大电流时输出电压肯定会偏高,而设计时考虑到电流二次电压不过电压,则有可能最低工作电流会上升,从而降低电源的适应范围。因此,如何采用一种既能保持较大工作范围,又能降低设备输入过电压风险是项目中的一个难点。

(5) 系统小电流或停电情况下系统工作电源的供给问题

如何在母线小电流的情况下不使用电池使电源能输出较大功率。

2.2 研究意义

在本项目中拟采取电流耦合取电的方式为输电线路在线监测设备供电,采用这种方案有三个方面的意义。

(1) 技术进步方面

通过采用防雷地线耦合取能的电源技术,使输电线路在线监测系统设备的取电方式摆脱了传统的必须依靠蓄电池进行储能模式。输电线路状态监测装置可以在完全不需要蓄电池的情况下长期可靠工作,避免了蓄电池寿命影响整个装置寿命的情况,使在线监测类设备的工作稳定性和使用寿命大大加长。

(2) 资源节约方面

输电线路在线监测系统主要都安装在人迹罕至的荒山野岭,很多地方可以说根本没有路,在采用光伏供电的输电线路在线监测装置由于每年至少要更换一次电池,其维护使用成本非常高,几年下来的维护费用甚至可以超过设备本身的费用。而采用全电流耦合取电技术后,设备几乎不需要常规性的维护,这对于供电企业来讲每年能节省大量系统维护成本。

(3) 社会效益方面

输电线路的故障往往是发生在环境恶劣的情况下,如果这个时候因为蓄电池的实效没有及时把现场的异常数据上送到监控中心,则没有办法对异常气候可能引起的灾难性后果做提前的处理,达不到为防灾、减灾和减少损失而安装输电线路在线监测装置的作用。全电流耦合取电技术如果能成功应用,则输电线路在线监测装置的整体可靠性上了一个台阶,越是在恶劣的气候条件下越能发挥它预防灾害的优势。

3 系统构成

架空输电线路输送负荷时在其周围产生交变磁场,该交变磁场切割由架空防雷地线和铁塔组成的金属环路变产生感应电动势,如果环路闭合则产生感应电流。输电线的交流磁场能够通过空间切割地线和杆塔组成的平面,从而在输电线路地线平面产生电流。因此,对于大负荷输送线

路，其普通防雷地线采用单点接地，就是为了避免地线产生感应环流而造成能量损失。如果能合理利用这种地线环流，就可以获得足够输电线

路在线监测装置使用的能量。系统示意图如图 6 所示。

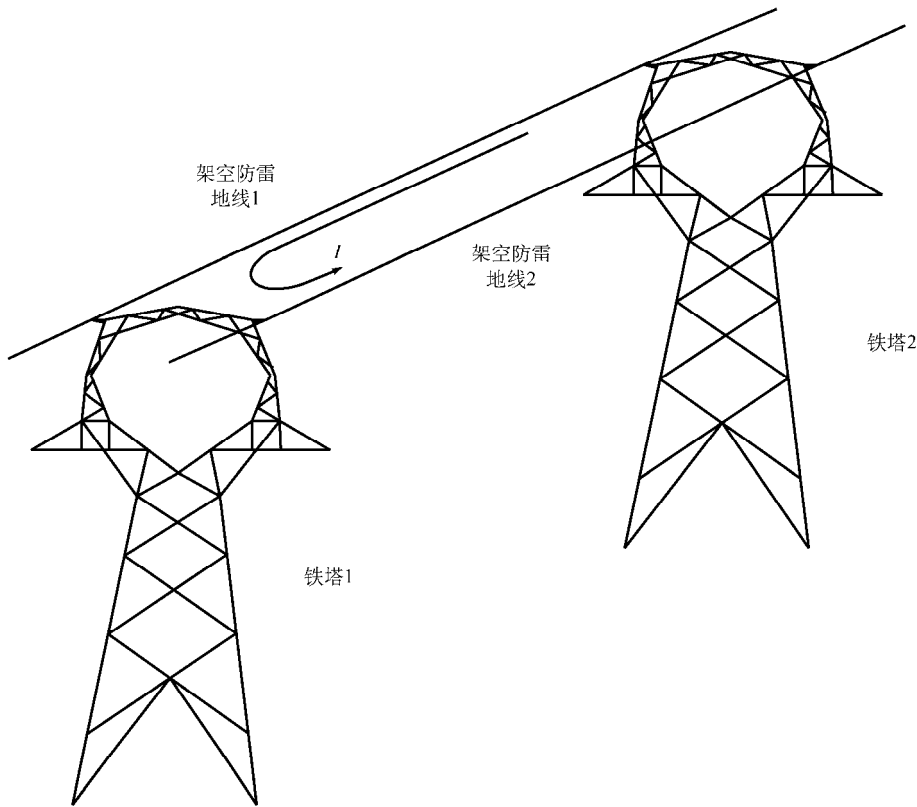


图 6 地线耦合取电系统示意图

根据麦克斯韦原理，导线上流过交变电流时会在空间产生交变磁场，而该交变磁场切割由两根防雷地线和铁塔组成的空间闭合平面时会在该平面上产生出感应电动势，一旦该平面的导电体形成环路则会在该到点平面上形成感应环流。原理图如图 7 所示。

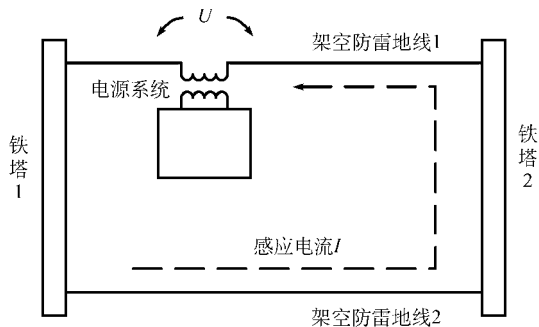


图 7 电源工作原理

根据《电力工程高压送电线路设计手册（第

二版）》手册上的计算例子，在输电线路母线电流为 436 A 时，在 1 km 的地线环路上会产生 376 W 的功率损失，如果设计的电源内阻和地线环相等，理论上就可以取出 1/2 的功率。在上述例子的情况下，就可以获得 188 W 的功率输出，这个功率足以支撑现有任何一种输电线路在线监测系统的工作。在此理论计算基础上可以看出，如果采用合适的方法，根据要求取出输电线路在线监测装置所需的持续稳定的能量，就能很好地解决目前线路监测系统中所遇到设备供电问题。

该电源系统安装方便，接线简单。电源系统和监控设备间采用防水航空电缆连接，连接口可以使用太阳能光伏电池和设备原有电源箱的插头，及用地线取电电源替代太阳能光伏板。图 8 为电源工程安装连接示意图。图 9 为电源在铁塔上安装示意图。

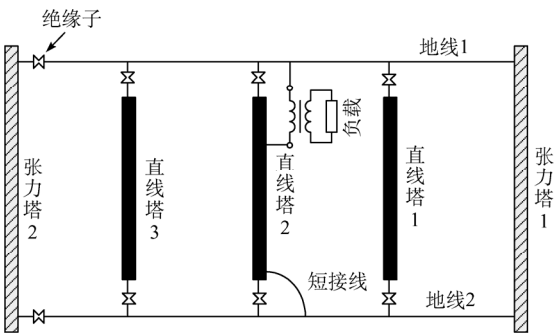


图 8 电源工程安装连接示意图

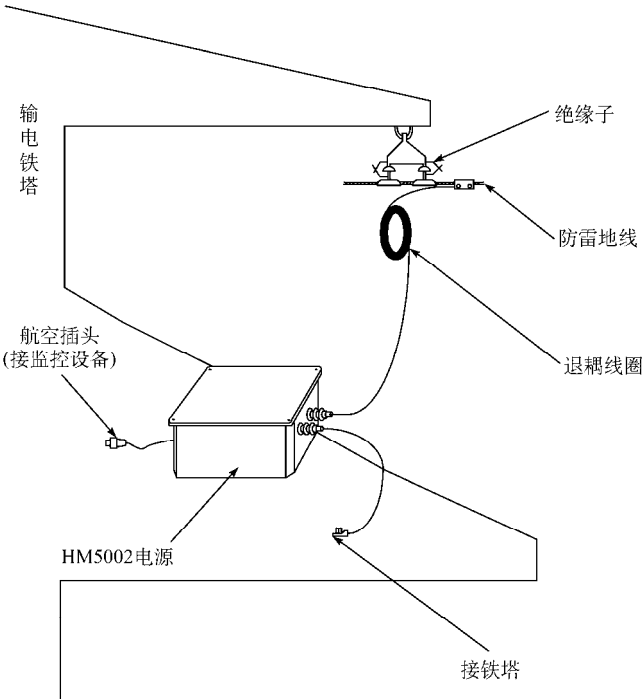


图 9 电源安装示意图

4 结束语

本文针对架空输电线路在线监测装置传统电源故障率高的问题,研究了一种新型的电源技术。实现了输电线路状态监测装置可以在完全不需要蓄电池的情况下长期可靠工作,避免了蓄电池寿命影响整个装置寿命的情况,使在线监测类设备的工作稳定性和使用寿命大大提高。

参考文献

[1] 蒋兴良, 谢彦斌, 胡建林, 等. 典型架空输电线路地线电磁取能等效电路的分析[J]. 电网技术, 2015, 39 (7): 2052 - 2057.

[2] 吴蓉, 杨军, 李晓东, 等. 输电线路在线监测系统的电源解决方案[J]. 电源技术, 2012, 36 (5): 709 - 710.

[3] 李成. 基于输电线路的电能量抽取技术研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.

作者简介

姚磊 (1984-), 男, 高级技师, 工程师, 主要从事工作领域: 高压架空输电线路运行维护管理。

(收稿日期: 2015 - 12 - 10) EA
(编辑: 史海疆)