

串补平台电源技术应用研究

串补平台上的二次设备均需工作在与串补线路相同的电位下，其能量供给一直是业界广泛关注的问题。目前主流的串补平台电源技术有电流互感器线路取能、激光供能、太阳能供电及电容耦合分压型供电。针对这四种供电技术的技术原理及典型应用场景进行了调研，其中主要调研了这些供电技术在串补平台中的应用。其次对其输出特性、应用条件、可靠性和经济性等方面的特性进行了综合的分析。最后总结了四种供电技术的优缺点，并对串补平台电源技术的发展进行了展望。

雷雨秋 刘之方 李志远 李永亮 董勤晓/中国电力科学研究院

0 引言

串补电容器组、MOV、火花间隙和阻尼装置等串补装置主设备均安装在串补平台上。在串补装置投入运行时，整个串补平台上的设备工作在与线路相同的电位下，因此，串补平台上二次设备运行所需电能的获取较为困难。目前高电位电源或供电有诸多方式：①基于电磁耦合原理利用一次侧电流从母线上取能；②在地面低压电源系统取能并转化为激光，通过光纤输送到供电平台，再将激光能量转化为电能；③太阳能供电技术；④电容耦合分压型供电技术。但高电位取能设备在投运后往往出现设备损坏、供电质量差和长期运行可靠性不高等诸多问题。

随着国内外对于高压输电线路在线监测装置研究的广泛开展，多种智能化设备（如电子式电流互感器、高压线路接头温度监测系统和高压线路驱鸟装置等）的能量供给问题得到了越来越多的关注。



雷雨秋/助理工程师

关键词/Keywords

串补平台电源 ·
电流互感器线路取能 ·
激光供能 ·
太阳能供电 ·
电容耦合分压型供电 ·

1 串补平台电源技术简介

1.1 电流互感器线路取能的技术原理

高压输电线路的电流互感器取能装置是利用了电磁感应的原理，即通过一个绕有线圈的感应铁心，将高压传输导线沿轴线从铁心穿过，从而组成一个穿心式的电流互感器（CT）。根据电磁感应定律，该铁心从母线电流上取得能量，再通过整流、滤波及电平转换等后续电路处理后，得到稳定可靠的直流电源。

1.2 激光供能的技术原理

激光供能的原理是将激光从地面通过光纤传输到高压端，在高电位处将激光的能量通过光电转换器件转换成电能，然后再通过后续电路的处理，得到所需要的稳定电源输出。其系统框图如图1所示。它的高压侧和低压侧被完全隔开。高压侧主要为光功率转换器（光电池）和DC-DC变换器，低压侧则由激光器及其驱动、保护和温控电路组成。激光器在低压侧将电能转换成光能，然后利用光纤将光能传输到高压侧，之后位于高压侧的光功率转换器再将光能转换成电能，经过DC-DC变换后供给高压

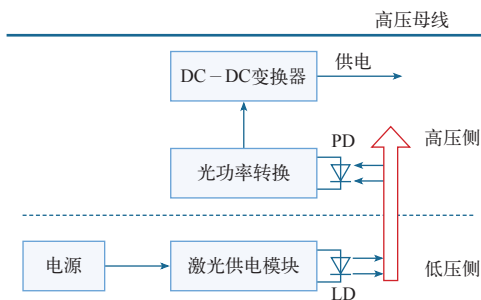


图1 激光功能系统框图

侧的信号采集系统^[1-2]。

1.3 太阳能供电的技术原理

太阳能供电系统是利用太阳能电池的光伏效应，将太阳能的光辐射能量转换为电能的系统，一套完整的太阳能供电系统主要由太阳能电池板、充放电控制电路、蓄电池、逆变器以及监测装置组成的^[3]。

1) 太阳能电池板。太阳能电池板是将太阳辐射能直接转换成电能的装置，可以给负载直接提供能量或者将能量存储在蓄电池中。

2) 充放电控制电路。控制电路为蓄电池提供合适的电压及充电电流，快速安全地为蓄电池充电，并会在充电过程中减少功耗，同时还可以避免过充、过放等现象。

3) 逆变器。逆变器的作用是将太阳能电池板或蓄电池提供的低压直流电逆变成所需的交流电，供给交流负载使用。

4) 蓄电池。蓄电池可以将太阳能电池板产生的电能转换成化学能存储起来，以便供给负载使用。在太阳光充足的情况下把电能存储在蓄电池中，等到太阳能光辐射能很微小的情况下，蓄电池可以作为供给负载的电源来使用。

1.4 电容耦合分压型供电的技术原理

电容耦合型非接触电能传输系统（Capacitively Coupled Power Transfer System, CCPT）是一种基于电场耦合效应的电气隔离的电能传输系统^[4-5]。

如图2所示，供电结构通过在金属板上施加交变电压，从而在板间形成交变感应电场，基于电场原理，金属板间会形成位移电流，从而在两对非接触金属板间实现电能的传递。在高压线路的周围平行于输电线放置一面金属，使此金属面割切

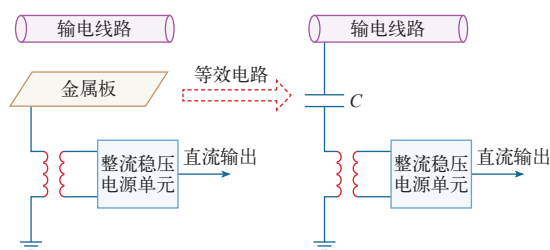


图2 电容耦合分压型供电结构

高压导线发出指向地面的电力线，通过变压器高压端等电路元件连接此金属面至地面，在金属面上就会感应出工频的交变电荷，该电荷再通过连接线回路就可以提供电能。图2右侧为其等效电路。

2 典型应用

2.1 电流互感器线路取能的应用——串补平台电源

此种供电技术广泛应用于电气二次设备的供电。如可用于输电线路状态监测系统的取能、电子式电流互感器的取能及环网柜二次监控单元的供电等^[6-8]。同时，电流互感器线路取能也多次应用在中国电力科学研究院研制的多套国产化串补装置上，如甘肃成碧220 kV可控串补。GE、ABB等国际串补制造厂商都已将电流互感器取能技术应用在串补装置上^[9]。

中国电力科学研究所提出的基于电流互感器供电的串补平台电源原理及负载布置如图3所示^[10]，主要由前端取能用电流互感器（CT）、电源变压器和充电回路及控制保护回路构成。取能CT二次侧通过电缆与电源变压器相连。电源变压器则由一次绕组、充电绕组和控制绕组组成。充电绕组的输出后接整流电路，整流电路的输出则接至电压支撑电容器和稳压电路。控制绕组的输出则接至控制及保护电路。其中取能CT与电源变压器等其他设备均使用分体式布置。

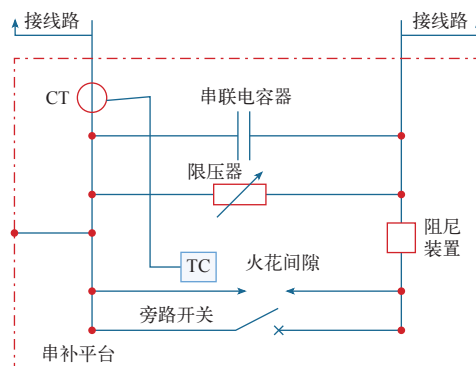


图3 串补平台电源及其负载的布置

2.2 激光供能的应用——串补平台电源

激光供能在电子电流互感器和有源型光学电流互感器上得到了应用^[11-12]，1992年，ABB公司研

制的有源型光纤电流传感器,其传感头采用A-D方式,电路功耗降低到 $150\text{ }\mu\text{W}$,此传感器就是采用的激光供电方式,并且已在 110 kV 变电站投入运行,准确度达到了0.5级,准确度和工作稳定性都较高,但相角误差比较大。1996年,由Photonic Power Systems公司的Anderson A G和Werthen J G研制出的一种激光供能装置的光电转换效率高达40%,输出功率也达到了 250 mW 。2000年, Ottoboni R和Svelto C共同研制的激光管,其输出功率达到了 5 W ,在输出电压为 3.3 V 时,输出电流达到 50 mA 。Siemens公司的激光供能OCT已经应用于我国天生桥—广州等地的 500 kV 换流站,但此类电源并不适合在野外工作。与此同时,激光供能也多次应用在串补平台上测量控制装置上,图4所示为某 500 kV 串补站的光纤平台测量系统供能方式的简略图^[13]。

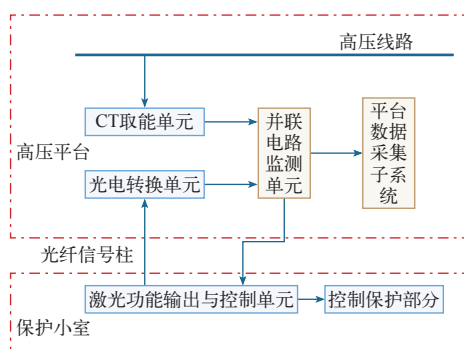


图4 某 500 kV 串补站取能结构图

从图4中可以看出,此串补平台上共有两种供电方式,串补装置正常运行时测量系统电源能量由电流互感器从线路电流获取。当系统故障引起电流不稳定或串补装置检修时,为确保测量系统电源供给的连续性,测量系统则会自动切换为激光送能。

此外,激光供电还可应用于医疗领域(核磁共振设备)、无线电领域(无源光网络检测系统)、国防领域(武器控制系统)及航空领域(机翼燃油舱)等。

2.3 太阳能供电的应用——高压输电线路驱鸟装置

目前太阳能供电主要应用在以下领域:①居民用电;②交通用电;③通信用电;④太阳能建

筑。虽然太阳能供电目前未应用在串补平台上,但在输电线路在线监测装置及高压输电线路驱鸟装置上成功应用^[14]。图5为驱鸟装置供电系统原理图。

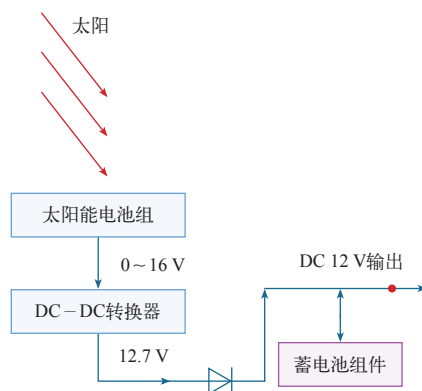


图5 驱鸟装置太阳能供电系统原理图

在白天等阳光较强的情况下,太阳能电池组输出 $0\sim 16\text{ V}$ 的直流电压,通过DC-DC转换器电路将其转换为 12.7 V 左右的稳定电压,在通过供电二极管为蓄电池组充电的同时提供 12 V 工作电压给驱鸟装置,在光照不足的情况下,DC-DC转换器输出电压低于 12 V ,此时由蓄电池组向负载供电,同时隔离二极管将会隔离充电电路与蓄电池。

2.4 电容耦合分压型供电——开普托(Cap Thor)

基于耦合电容分压取能原理,ABB公司研制出新型串补装置,如图6所示,并于2010年8月在沽源 500 kV 变电站汗沽双回线路上正式投运^[15]。

该方案基于一种新型、密闭和快速的高功率开关—开普托(Cap Thor)。开普托由一个快速机

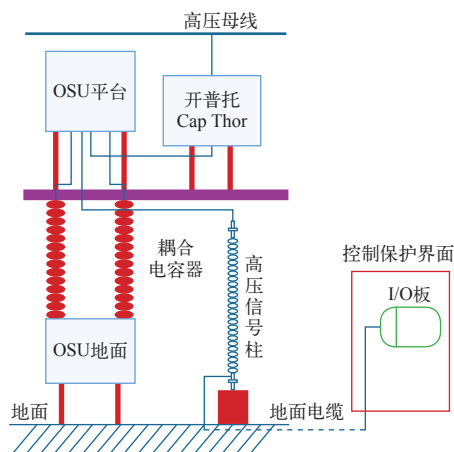


图6 ABB开普托串补平台结构组成

械开关和一个等离子电弧注射器并联组成。开普托与金属氧化物变阻器 (MOV) 一起配合工作, 以其快速的动作性能, 更好地减少MOV的能量耗散并减弱对电容器组的损伤。OSU供电模块经由耦合电容器串联在线路和地之间, 基于分压原理从线路取能。其通信系统通过光纤与平台下方保护室的控制装置相连接, 操作与控制蓄能电容器的电压及开普托气压在OSU平台模块里进行监测。而监测信息则通过光纤传输到控制室, 开普托触发、合闸和分闸指令通过光纤从控制室发往开普托, 以保护串连电容器组。

3 各种串补平台电源技术的性能分析

3.1 电流互感器线路取能

这种供电方式体积小, 重量轻, 结构紧凑, 绝缘封装简单, 使用安全, 成本低, 不易受恶劣环境的影响, 可长期应用于在日照强度小的地区。然而这种供电方式依托于高压母线电流大小, 因此其存在死区, 当母线电流处于较小值时, 系统不能正常工作, 而在母线电流很大时, 电源容易出现过电压及过热等问题。同时电流互感器的安装与母线结构相关, 在母线端部等电流不流通位置, 该技术无法应用。

3.2 激光供能

激光供能的最大特点是以激光的形式通过光纤传输能量, 完全实现了高低电位间的电气隔离, 因此不受电网波动及电磁干扰的影响, 可安全、可靠地供电。其绝缘成本低, 纹波小, 噪声低, 有着很好的应用前景。但是激光供电结构复杂, 能提供的功率极其有限, 且成本较高。同时对于大功率激光发生器来说, 其激光二极管的工作寿命有限 (低于1.5万h), 如果长时间工作在驱动电流比较大的状态下, 激光二极管容易发生退化现象等导致工作寿命迅速降低^[16]。其次光电池的转换率偏低, 目前, 大功率的光电池转换率在22%左右, 小功率光电池的光电转换率最大能达到40%左右。

3.3 太阳能供电

太阳能供电作为一种新型能源, 具有很多

优势^[17]: 无燃烧过程, 不需要燃料; 维修保养简单, 维护费用低; 太阳能光伏电池使用寿命长, 晶体硅太阳电池寿命可达到25年以上; 太阳能随处可得, 不受地域限制, 可避免长距离传输等。

但同时也存在一些问题和缺陷。太阳能电源仅在受光后才能发电, 其输出稳定性容易受到外界环境的影响, 比如温度高低、季节更替以及光强大小等, 这些问题严重影响了太阳能供电的稳定性和可靠性。而且普通太阳能电池的光电效率非常低 (通常在10%~15%), 输出能量受限, 不利于太阳能供电方案的推广。同时硅太阳电池电池板体积大、安装不易, 且不具备保存电能的能力。因此为了能获得稳定的电源输出, 保证能不间断地向负载供电, 太阳电池必须与蓄电池并联连接。蓄电池更换年限较短 (约为3年), 不适合应用在必须长期稳定运行的设备上。

3.4 电容耦合分压型供电

此种供能方案优点是电路简单, 输出功率大。但也有诸多的不足: 首先为保证取能电路和后续处理输出公路电路之间的电气隔离必须经过严格的过电压防护和电磁兼容设计, 否则容易损坏电源。其次这种供电方式依托于母线电压, 同样存在电压死区, 需要合理选择应用条件或配备备用电源, 从而增大了整体系统的复杂性。此外, 杂散电容、温度等多种因素都将影响电源的稳定性, 降低电源的可靠性。

对以上这四种方式进行综合的分析比较后, 可将其各项性能优缺点进行总结, 如表1所示。

表1 四种高电位供电方式性能比较

参数	电流互感器 线路取能	激光供能	太阳能供电	电容耦合 分压供电
体积	较小	最小	大	较大
结构	简单	复杂	较复杂	复杂
输出功率	2~20 W	<2 W	10 W~50 MW	10~70 W
寿命	长	最短	较长	长
应用条件	受母线 电流影响	限制少	受外界 光照影响	受母线 电压影响
可靠性	最高	较高	较高	低
经济性	较高	最高	低	较低

注: 经济性比较是单位输出功率下各种串补平台电源技术成本。

4 结束语

介绍了四种主流的串补平台电源技术,即电流互感器线路取能、激光供能、太阳能供电及电容耦合分压型供电技术。

1) 电流互感器线路取能体积小、结构简单,寿命长且具有较多的应用经验,可靠性高,但其输出功率依托于母线电流大小,存在死区,供电稳定性不足。

2) 激光供能稳定可靠,不受电网波动的影响,可以与电流互感器线路取能配合使用。但激光供能设备制作成本高,激光二极管工作寿命较短,并且光电池的转换率偏低,提供的功率非常有限。

3) 太阳能供电作为一种新型能源有很多优势,无污染、无噪声,且输出功率范围大,但太阳能电池板体积大,且只有在受光后才能供电,必须配备寿命有限的蓄电池,因此供电可靠性不高,且不适合必须长期稳定运行的设备。

4) 电容耦合分压型供电也依托于高压母线,因此同样存在死区,但相比较电流互感器线路取能来说,其能提供更高的功率输出,但设备占地面积大,绝缘结构和电路结构较为复杂,可靠性较低。

综上所述,各类串补电源技术及应用特性均有其优势和不足,因此在核心技术上实现突破从而解决这些缺陷,或将两种及两种以上的取能技术同时应用是提高可靠性的主要趋势。随着大功率固体激光器技术和无线输电技术的发展,这也将成为串补平台电源未来发展的方向。

参考文献

- [1] 邱红辉,段雄英,邹积岩.基于LPCT的激光供能电子式电流互感器[J].电工技术学报,2008,23(4):66-72.
- [2] 袁静.基于PCB-Rogowski线圈的激光供电式电流互感器的研究[D].秦皇岛:燕山大学,2012.
- [3] 周雪纯.独立太阳能供电系统的设计与研究[D].西安:西安科技大学,2011.
- [4] 胡友强,戴欣.基于电容耦合的非接触电能传输系统模型研究[J].仪器仪表学报,2010,31(9):2133-2139.
- [5] 周健瑶.结合超级电容和锂电池的电流互感器取能电源研究[D].重庆:重庆大学,2014.
- [6] 李先志,杜林,陈伟根,等.输电线路状态监测系统取能电源的设计新原理[J].电力系统自动化,2008,32(1):76-80.
- [7] 刘丰,高迎霞,毕卫红.电子式电流互感器高压侧供能方案的研究[J].高电压技术,2007,33(7):72-75.
- [8] 韦捷,周强,李玉香.电流互感器取电技术在智能配网中的应用研究[J].企业科技与发展,2013(8):25-28.
- [9] Anderson P M, Farmer R G. Series compensation of power systems [M]. PBLSH!Inc, 1996.
- [10] 李志远,李国富,陈没,等.基于电流互感器供电的串补平台电源研制[J].电网技术,2012,36(12):195-199.
- [11] Banwell T C, Estes R C, Reith L, et al. Powering the fiber loop optically—a cost analysis [J]. Journal of Lightwave Technology, 1993, 11(3):481-494.
- [12] Song J, McLaren P G, Thomson D J, et al. A clamp-on magneto-optical current transducer for power systems [J]. 1994(2):884-887.
- [13] 余涛.激光供能在串补站平台测量系统的应用[J].云南电力技术,2012,40(3):87-89.
- [14] 何华平,陈光建.高压输电线路驱鸟装置的太阳能供电系统设计[J].湖北大学学报:自然科学版,2011,33(1):41-44.
- [15] 王宝琳,王宝卿,孟杰,等.高压长距离输电线路串补平台供电可靠性研究[J].电力安全技术,2015,17(5):11-14.
- [16] Yakum, Nchonko C. Electric current measurement in power systems using optical fibre techniques [D]. Liverpool, UK: University of Liverpool, 1996.
- [17] 沈辉,曾祖勤.太阳能光伏发电技术[M].北京:化学工业出版社,2005.

(收稿日期:2017-09-06) **EA**