感应取能供电在输变电线路监测中应用研究

由于输变电线路高压侧检测设备电源无法由低压侧直接提供，因此研究、设计一种在高压侧获取检测设备所需电源的供电装置十分必要。本供电装置以电磁感应取能原理为基础，将单片机引入到电源控制回路中，保证供电装置在输变电线路母线电流不断变化中仍提供稳定电源。该感应取能供电装置的取能部分、电流保护部分和锂电池充放电部分均由单片机进行控制，使其具备稳定、长期供电性能。试验及现场测试数据证明该取能供电装置满足实际需求。

张明河／神华国能山东建设集团有限公司

张明河／高级工程师

关键词／Keywords

在线检测·
感应电源·
锂电池·
单片机·

随着电网规模、容量增大，对供电可靠性的要求越来越高。为保障电网的安全运行，稳定、可靠的输电线路在线监测系统必不可少。现如今，更多种类、数量的输电线在线监测设备将投入使用，如高压输电线绝缘子污秽在线监测系统、输电线覆冰在线检测系统，但由于输变电线路的特殊性，如何为检测设备提供可靠、稳定的电源至关重要。

目前，输电线路在线检测设备的供电方式主要采用太阳能供电和感应取能供电。但由于太阳能供电成本高、体积大以及安装受限，并且受天气影响较大无法提供稳定电源，因此正逐步被淘汰。感应取能供电利用电磁感应原理，通过电流互感器获取电能，相比太阳能电池，其具有成本低、体积小、安装灵活及不受环境限制的优势。但是因输送电线路电流变化，导致感应取能供电装置得不到稳定电源，从而导致在线检测系统不能正常运行。因此，设计一种可以安全、稳定且不间断地向输电线路上的各种设备提供电能的电源尤为关键。本文研究并设计了基于单片机控制的高压侧感应取电的电源装置，并加入可充电的备用电池配合供电，保证在主线电流较低和较高时均能提供稳定电源。

系统建设方案

输变电线路检测系统采用分层分布式结构，本系统采用三层网络架构，如图1所示，从底层往上依次为无线传感器与数据采集器、总线网关和监控中心。

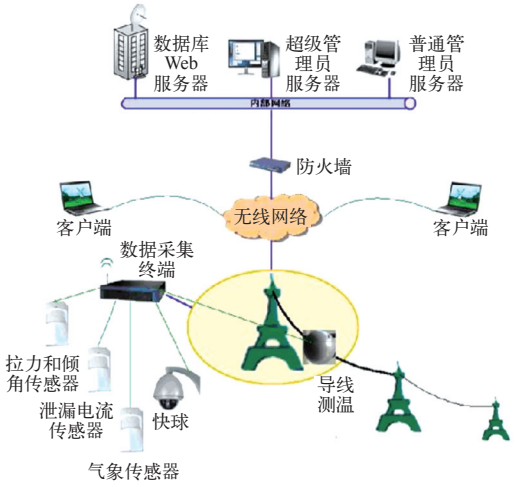

图1　系统网络架构

输变电线路检测系统通过安装在高压输电线路杆塔上的各种监测传感器、监视摄像机获取实时监测数据和视频信息，无线通信装置通过传输网络将监测数据传输到后台主站中心，主站中心上综合数据智能管理平台应用实时历史数据库技术，实现在线监测数据的统一管理和综合利用，完成设备的状态诊断、电网设备运行状态分析等高级应用，从而实现状态监测数据更大的价值。采用感应取能供电的检测单元结构如图2所示。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

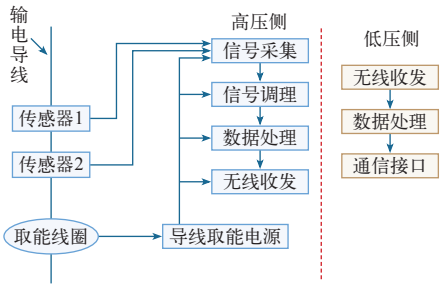

图2 感应取能供电的检测单元结构

感应取能供电系统

1. 感应取能的基本原理

本装置基本工作原理为：当输送电线路通过交变电流时，其周围产生交变磁场，经过铁心和线圈组成的换能器后，在感应线圈两端产生感应电动势，再经过整流单元将交流电源转换为直流电源，从而给检测设备供电，并给蓄电池充电。其感应取能电源简化模型如图3所示。

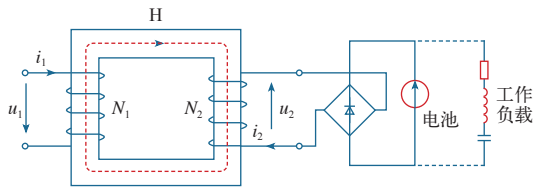

图3 感应取能电源简化模型

根据电磁感应原理，二次侧的感应电动势为

$$P=\sqrt{2}\pi fBSN_2\Phi_m=\sqrt{2}\pi fN_2BS \quad (1)$$

式中，N_2为互感器二次侧线圈匝数；Φ_m为磁通率；f为主线电源频率；B为互感器磁感应强度；S为互感器截面积。

因磁场强度H和互感器的磁感应强度B之间是非线性关系，故在主线电流较小时， 互感器的传递功率为

$$\begin{aligned}P&=E_2I=\sqrt{2}\pi fBSN_2I\\&=\sqrt{2}\pi fBSN_1(I_0-I_m)\\&\approx\sqrt{2}\pi fBSN_1I_0\end{aligned} \quad (2)$$

式中，I_0为母线电流；I_m为励磁电流；I为二次电流。

一般110 kV、10 kV输变电线路电流的变化范围为0～1 000 A，本感应取能装置采用双感应线圈取能：其中一个为在主线电流较小时（0～100 A）感应取能的速饱和感应线圈；另一个为在母线电流较大时（100～1 000 A）感应取能的慢饱和感应线圈。根据实验数据，本装置选择感应匝数300线圈为速饱和感应线圈，选择感应匝数600线圈为慢饱和感应线圈，对主线电流适应范围增大至0～1 200 A，满足大多数输变电线路的取能要求。

2. 总体结构

本感应取能供电装置总体结构框图如图4所示。其中供电装置中取能单元采用技术成熟的电流互感器电磁感应取能方案。本电源为保证在宽电流范围下取得理想电源特性，应用单片机对速饱和线圈和慢饱和线圈进行自动切换。并采用单片机对过电流保护单元进行控制，通过单片机监测采样电阻信息，经判断后利用泄流支路在过电流时帮助泄流。

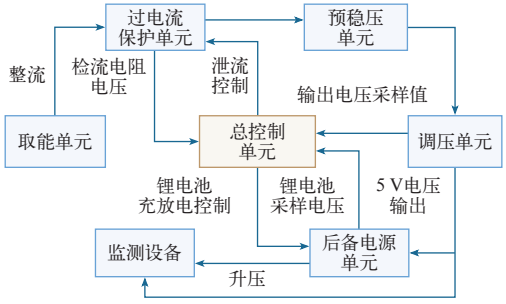

图4 电源总体结构框图

本电源装置加入锂电池作为后备电源协同取能单元，避免输送线路在电流过小的情况下供能停滞或不足，保证在线监测系统供电要求。目前，大部分输变电线路在线监测系统采用GSM通信模块对监测数据进行数据发送，在GSM通信模块发送数据时，设备耗能显著提高。针对这一情况，利用单片机控制后备电源定时介入，保证数据发送时的电源需求。在整个供电装置中，单片机对整个取能过程起着监管作用，其单片机程序流程如图5所示。

3. 感应取能单元

取能单元位于本感应取能供电装置前端，其结构如图6所示。根据电磁感应原理，当输送线路电流过大时，二次侧也相应出现大电流，将对控制电路构成危害；当输送线路电流不足时，二次

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

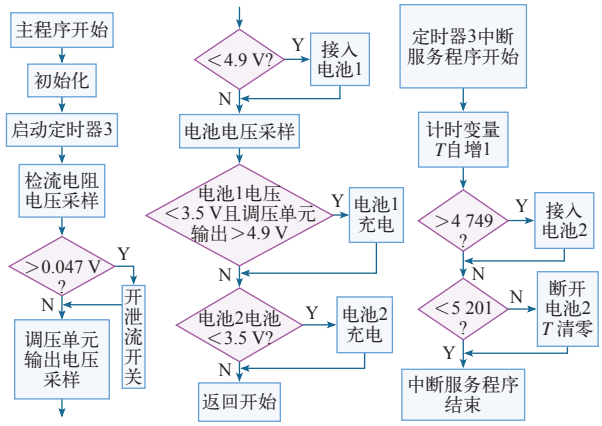

图5　单片机程序流程

电流偏小，不能保证充足取能。因此，应采用速饱和线圈和慢饱和线圈对二次侧感应电流进行协调。当取能充足时，单片机优先将600匝线圈接入，降低二次电流，保障后续电路的安全运行。当位于后续电路的输出电压检测点电位过低时，单片机仅将300匝线圈接入，以保证二次电路取能充足。匝数的切换是通过单片机对调压单元输出值进行判断，经由I/O口改变电平K_1的高低实现的。

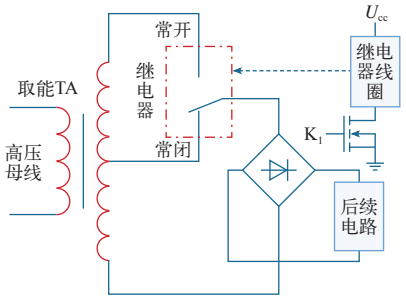

图6　取能单元结构

4. 过电流保护及功率调整电路

过电流保护单元结构如图7所示。二次电流会在控制电路输入端形成一定电位，若此电位过高，将损坏控制电路。故设置瞬态电压抑制器（TVS）对输入端电位进行抑制。但TVS 仅具有短时泄放大功率的能力（可持续泄放15 W 功率约1 s），因而另设MOS 管支路协同泄流。此支路的开断亦由单片机对采样点OCTEST 电位（即检流电阻电位）判断后进行控制。当TVS 支路存在明显漏电流时，输入端电位已过高，此时检流电阻压降不再为零。单片机据此将K_0电位置为高电平，MOS 管导通将输入端电位拉低。

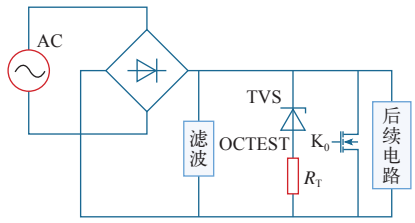

图7　过电流保护单元结构

5. 充放电管理电路

当输变电线路电流较低或者供电装置负载较大时，单靠感应取能供电无法达到供电要求。因此，在本装置中加入后备锂电池用于辅助供电，保证在线检测设备的正常运行。后备电源单元结构如图8所示。

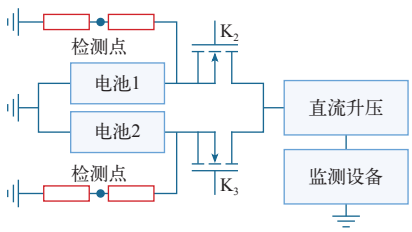

图8　后备电源单元结构

当单片机将线圈切换到速饱和线圈后，电源输出仍未达到额定值，表明主线电流处于低电流区间，无法满足取能要求。此时，单片机通过预先程序将备用锂电池接入供电单元，从而达到设备所需额定值进行功率输出。

本装置将锂电池作为后备电源，合理、高效地充放电是其长期稳定运行的保证。因此采用单片机对锂电池的充放电方式进行控制，通过对锂电池电位采样进行判断，控制是否对锂电池充电。本装置充电电路由充电芯片、外围电路和两块锂电池（额定电压3.7 V，额定容量2 500 mA·h）构成，如图9所示。充电电路采用标准的恒压－恒流充电方式，两块锂电池均用于主线欠电流下的功率补偿。

负载测试

为测试本感应取能供电装置供电时的输出特

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

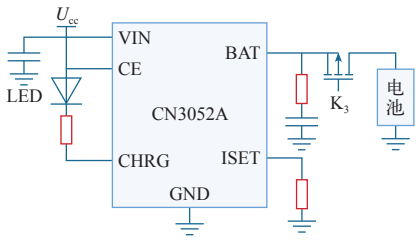

图9 充电电路结构

性，分别使用其在实验室为纯电阻供电，在现场为在线监测设备（如污秽绝缘子监测系统）供电。

在实验室采用升流器模拟一次线路电流，一次电流变化范围为0～800 A，使用10 Ω电阻作为模拟供电装置负载（额定电压5 V，理论输出功率2.5 kW），分别对感应取能供电装置的输出电压、锂电池充电过程及后备电源定时接入进行测试。实验室模拟装置在不同主线电流下的电源输出特性如表1所示。

表1 线路电流变化时电源工作状态

一次电流	输出电压/V		充电电流	输出功率/W	
/A	无锂电池	有锂电池	/A	无锂电池	有锂电池
0	0	4.75	0	0	2.26
38	0.926	4.78	0	0.08	2.28
66	1.72	4.8	0	0.3	2.3
72	2.16	4.86	0	0.47	2.33
123	3.48	4.85	0	1.21	2.35
153	4	4.91	0	1.6	2.41
171	4.92	5	0.01	2.42	2.5
201	5.03	5.04	0.07	2.53	2.54
218	5.04	5.04	0.129	2.54	2.54
246	5.03	5.04	0.217	2.53	2.54
283	5.04	5.04	0.321	2.54	2.54
306	5.03	5.04	0.398	2.53	2.54
334	5.05	5.04	0.482	2.53	2.54
366	5.06	5.04	0.517	2.54	2.55
402	5.04	5.03	0.552	2.56	2.54
435	5.04	5.04	0.355	2.54	2.54
492	5.04	5.03	0.441	2.56	2.54
565	5.04	5.05	0.551	2.55	2.54
611	5.03	5.04	0.523	2.54	2.55
668	5.05	5.05	0.522	2.54	2.56
732	5.06	5.05	0.523	2.56	2.55

(续)

由表1可知，增加后备电池后，电源输出电压稳定，输出功率满足要求，并且受输变电网负载影响较小，满足大部分检测设备的供电要求。

此外，利用某城区10 kV输电线路对已有的在线监测设备（如污秽绝缘子监测系统）进行现场供电测试。由某城区10 kV输电线路日负载对输电线路电流的电流区间进行分段统计，得到输电线路负载电流与持续时间对应的供电装置工作状态，如表2所示。

表2 负载电流与持续时间

电流段/A	持续时间/h	工作状态
低于100	0	锂电池供电
100～171	4	协同供电
171～400	12	速饱和线圈供电，充电
400～600	8	慢饱和线圈供电，充电

由表2可知，在某城区10 kV输电线路正常运行时，其主线过电流基本稳定，后备锂电池秩序在输电线路低负载时间段时介入并供电。一天之间有 20 h可以对锂电池充电，放电时间仅4 h，采用较小容量的锂电池就能满足需要。因此，采用双线圈协同锂电池交替取电，能够保证对在线监测设备的正常供电。

结束语

本供电装置针对输变线路上在线检测设备供电实际需求和现实问题，研究并设计了基于单片机控制感应取能供电装置，并加入锂电池作为后备电源协同供电。给出供电装置各单元的工作原理和结构图。最后对供电装置分别进行实验室和现场负载测试，得到性能测试数据，表明该感应取能供电装置可提供稳定、有效的电源。

（收稿日期：2015－04－12）EA

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net