便携式继电保护试验电源设计

陈哲军，肖丹丹

（国网漳州供电公司，福建 漳州 363000）

摘要：便携式继电保护试验电源,作为电网集中式供电试验电源的重要补充，不仅能够提供稳定高效的直流电源，同时满足各类小型分散试验现场作业要求。根据继电保护装置负载特性要求，提出一种能够承受瞬时功率的试验电源系统方案，并进行分模块介绍和数据测试，具有一定的工程实用价值。

关键词：便携式；继电保护；试验电源；瞬时功率

Design of portable relay protection testing power supply system

CHEN Zhejun, XIAO Dandan

(State Grid of Zhangzhou Power Supply Company, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: Portable power relay protection test supply, as an important supplement of grid centralized test power supply, not only can provide a stable and efficient DC power supply, at the same time meet the requirements of all kinds of small scattered field test site. In accordance with the requirements of relay protection device load characteristic, a kind of instantaneous power to bear test power system solutions is proposed, and points module and data testing are introduced, it has engineering practical value.

Key words: portable; relay protection; test power supply; instantaneous power

0 引言

直流试验电源作为电力系统二次设备供电电源具有较高的可靠性和稳定性。继电保护试验电源适用于变电站现场继电保护工作、新设备投运的调试及其他小型电力试验工作，为继电保护装置、高压断路器控制回路以及通信装置等提供稳定、可靠的直流电源，对于当前变电站日常检修和维护发挥了重要作用[1-3]。

继电保护试验电源按供电方式可分为集中式和分布式。集中式供电的试验电源屏，主要用于具有一定规模的电力设备控制和保护系统，体积大，成本高；而分布式直流试验电源具有体积小、灵活性高、成本少和维护方便等优点。传统的集中式试验电源由于不易搬动、纹波系数大和调压困难等已不能满足现场试验工作的需要，继电保护设备逐渐向小型化和轻量化方向发展。因此，本文针对常规及智能变电站现场各类检验的需求，研制了一种便携式继电保护试验电源，该电源具有能够承受长时的连续功率(150 W)，同时能够承受短时瞬时功率(1 000 W/20 ms)，瞬时功率主要用于承受断路器分合闸操作的冲击。

1 工作原理

通过采用高频开关电源模块，能够有效地减小试验电源的体积和重量，如图1所示，本设计主

要包含4个功率模块，分别是将交流电变换为直流电的整流模块、直流电升压模块、蓄电池充电器模块及蓄电池模块。

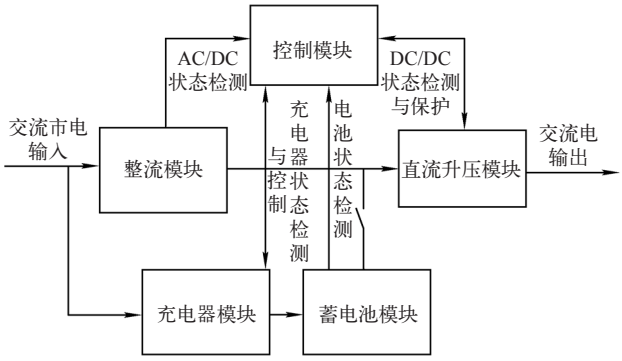


图1　试验电源模块拓扑

Fig. 1 Test power supply module topology

根据试验现场供电情况以及不同的负载特性要求，继电保护试验电源有以下工作方式。

1）方式1。长时供电模式，主要针对继电保护装置正常运行时供电，供电方式如图2a所示。交流电通过整流模块和升压模块输出稳定的直流电供保护装置使用，同时交流电经充电器对蓄电池模块充电。

2）方式2。瞬时供电模式，供电方式如图2b所示。当负载突然增大使整流模块输出电压被瞬间拉低，如果低于蓄电池电压，负载将由交流电经整流模块、充电器模块以及蓄电池模块共同供电，使得输出直流电电压跌落在允许范围内。

3）方式3。蓄电池供电模式，供电方式如图2c所示。当现场出现交流电异常时，整流模块无输出，蓄电池模块通过升压模块输出直流电供二次设备使用。

通过合理地设计整流模块输出的电压，使其在长时间供电时电压略高于蓄电池电压，让蓄电池处于热备用状态，当试验电源承受短时性冲击负载时，由于整流模块输出电压出现跌落，使得蓄电池和充电器能够同时为升压模块提供负载所需的功率，有效防止了试验电源出现较大的电压跌落而影响保护装置的正常运行及断路器无法分合闸的情况。

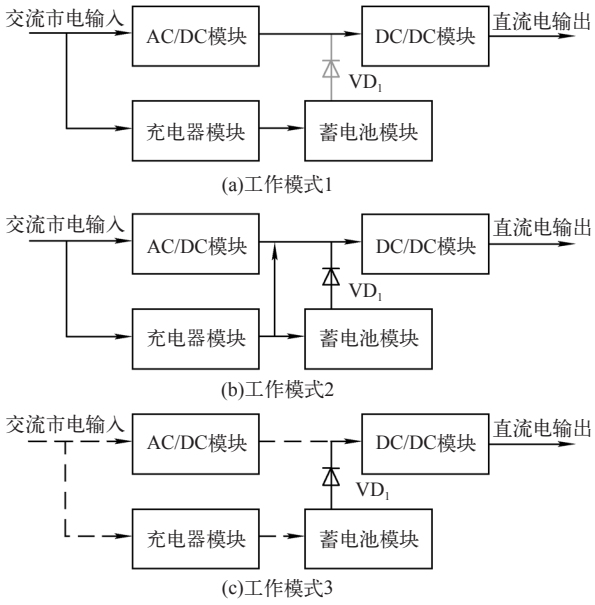


图2　试验电源工作方式

Fig 2. Working mode of test power supply

2　模块简述

试验电源需要满足继电保护试验现场的以下要求：变电站内220 kV及以下电压等级线路和主变压器保护装置静态功率通常小于100 W，因此便携式继电保护试验电源要求能够满足额定功率150 W的长时运行条件；为避免交流电压波动对保护装置的影响，试验电源的输入电压设计为AC 175～265 V/50 Hz；当前变电站内继电保护设备常用220 V直流电源，因此本试验电源设计的输出电压为DC 220 V，输出电压误差≤±0.5%，电压纹波≤0.5%；此外开关机构分合过程中由于分闸、合闸线圈瞬间涌流功率可能达到数百瓦，直流电压出现较大的跌落可能导致开关拒动等，因此本装置要求可以承受20 ms的1 000 W瞬时功率。

2.1　整流模块

整流模块将交流电转换成稳定的直流电，为减小设备体积及适应一定范围的交流电压输入，采用LLC串联谐振变换器作为整流模块拓扑，通过合理设计谐振频率，不仅能够保证整流模块的高变换效率，还能满足宽动态交流电变化范围，适应现场多变的工作条件。

对于整流模块输出电压的选取，提高整流模块输出电压能够有效减小后级升压模块的升压比，提高升压模块效率，然而当试验电源承受瞬时负载冲击时，要求输出直流电压波动在允许范围内，因此整流模块的输出电压只能略高于充电器模块的浮充电压。综上所述，整流模块输出电压为DC 29 V。

2.2 充电器模块

合理的蓄电池充电方式能够有效提高蓄电池的使用寿命，因此独立的充电器模块既能够优化蓄电池充电方式，同时还能在试验电源承受瞬时冲击时提供一部分临时功率。

充电器模块采用三段式充电，当蓄电池电量较低时采用恒流快速充电，当监测到蓄电池电压接近预设电压时切换为恒压充电，在达到规定延时时间后进入浮充状态。为满足便携性要求，采用2节12 V/24 A·h蓄电池串联，充电器的充电功率一般在100 W左右，可以选用单管反激式高频变换器作为充电器模块拓扑，该拓扑结构简单，易于实现。

2.3 升压模块

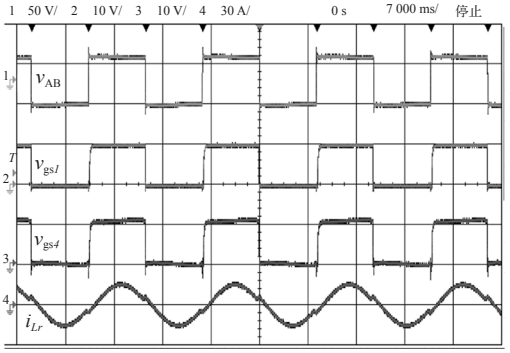
升压模块将低压直流电转换为稳定的220 V直流电输出供继电保护设备使用，对于其输出电能稳定性具有较高的要求。在交流电供电模式下，模块输入电压为整流模块的输出电压DC 29 V；电池供电模式时，模块的输入电压为电池的端电压，两节蓄电池串联供电时最低工作电压为DC 21 V，因此设计升压模块的输入电压范围为DC 21～29 V。

升压模块需要长期承受低压大电流的工况，对功率器件的选择较为苛刻。综合稳定性和转换效率的角度考虑，选取推挽变换器作为升压模块拓扑，两个一次侧开关管轮流导通，减小器件的电流应力。

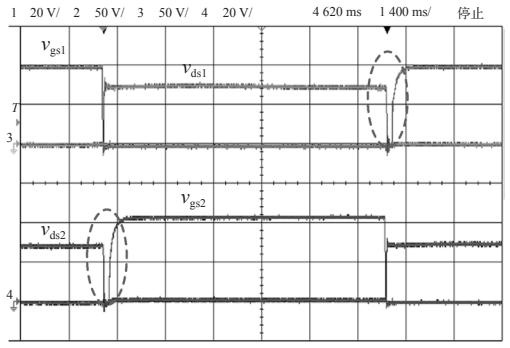
3 测试数据

根据前文所述研制出一台150 W的便携式继电保护试验电源，并进行关键参数测试，得到各模块的关键波形及数据。

如图3所示，i_L、v_{gs}、v_{AB}和v_{ds}分别为LLC谐振变换器的谐振电感电流、一次侧开关管同一个桥臂的驱动电压波形、桥臂中点电压和开关管的漏源电压波形。在额定功率下电感电流呈正弦波形，一次侧开关管实现ZVS（零电压开通），二次侧二极管实现了ZCS（零电流关断），有效减少了开关损耗，保证了整流模块的效率。



（a）LLC 谐振变换器一次侧关键波形



（b）LLC 谐振变换器二次侧关键波形

图3 LLC谐振变换器输出150 W/DC 29 V@AC 220 V输入

Fig. 3 Efficiency curve of rectifier module and booster module

如图4所示，v_{ds}、v_{gs}分别为DC/DC模块一次侧开关管的漏源电压和驱动电压波形。

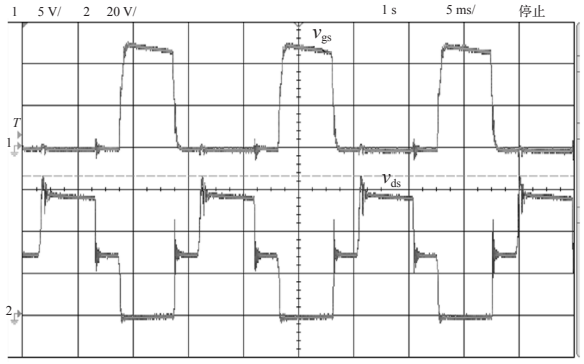
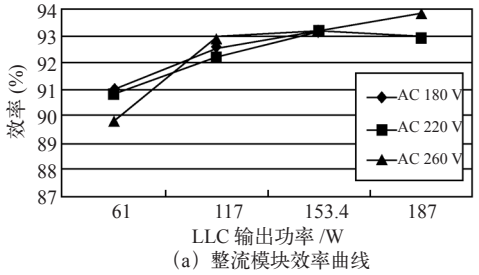


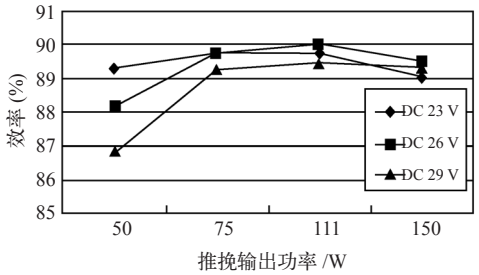
图4 推挽电路输出150 W/DC 220 V@DC 29 V输入

Fig. 4 Key waveform of instantaneous load of test power supply

图5a中，分别对应整流模块输入电压为AC 180 V、AC 220 V和AC 260 V效率曲线，在全电压范围内能够保持90%以上的转换效率，其中峰值效率达到93.8%。图5b中，分别对应升压模块输入电压为23V DC、26V DC和29V DC效率曲线，峰值效率接近90%。



（a）整流模块效率曲线



（b）升压模块效率曲线

图5　整流模块和升压模块输出效率曲线

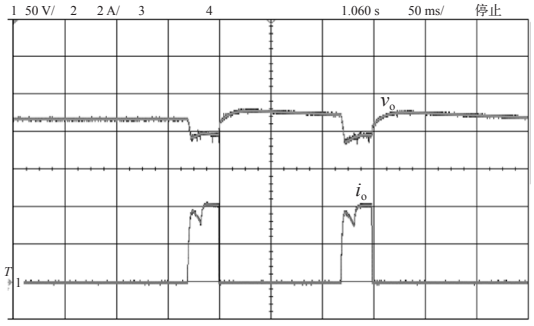
Fig. 5 Efficiency curve of rectifier module and booster module

图6为该试验电源在交流供电模式下和蓄电池供电模式下开关机构分合闸时的输出电压和电流波形，涌流峰值为4.5 A，输出电压跌落范围在±20%以内，保护装置正常运行，能够满足断路器控制电源在80%正常电压下分合设备的要求。

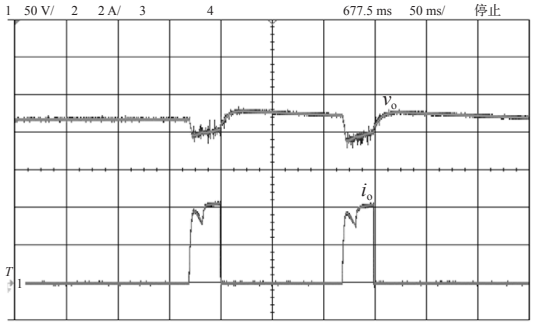
此外，该试验电源满足负载调整率<1%，纹波≤300 mV，在环境温度55 ℃下能够长时间运行，具有较高的稳定性。

4　结束语

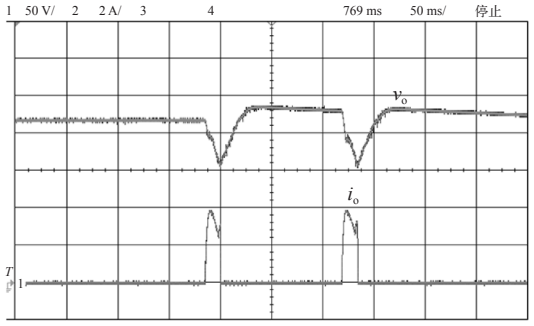
根据继电保护现场试验及新设备调试要求，设计了一套安全可靠、灵活便携的继电保护试验电源装置，满足当前各种分散小型继电保护试验作业的需要。不仅能够作为设备的长时间供电电源，同时能够承受短时性瞬时负载，满足了开关分合闸时的动态特性要求。试验数据表明，该电源能够满足各项设计指标要求，为继电保护装置提供安全可靠的电能保证。本方案采用模块化设计，结构简洁，功能完善，便携方便，对于变电站小型试验电源应用场合具有良好的发展前景。



（a）电池单独供电



（b）电池电网联合供电



（c）电网单独供电

图6　试验电源瞬时负载关键波形

Fig. 6 Key waveform of instantaneous load of test power supply

参考文献

[1] 廖革文．电力系统直流操作电源的发展趋势[J]．电工技术杂志，2003，20(5)：1-4.
LIAO Gewen．Development trend of dc operating power supply in power system [J]．Journal of Electrical Technology，2003，20(5)：1-4.

[2] 杨子靖，卢其威，王多伦，等．基于DSP 数字控制电力操作电源的开发[J]．电力电子技术，

（下转第 43 页）

Research and implementation of a parallel redundancy network in intelligent substation[J]. Electrical Technology, 2018, 19(8): 109-113.

[4] 李忠安，迟翔，张惠刚，等．基于虚拟网桥原理的PRP/HSR网络接口设计[J]．智能电网，2016，4(6)：582-586.
LI Zhongan, CHI Xiang, ZHANG Huigang, et al. Design of PRP/HSR network interface based on virtual bridge[J]. Smart Grid, 2016, 4(6): 582-586.

[5] 李强，窦晓波，吴在军，等．数字化变电站通信网络规划与实时特性改进[J]．电力自动化设备，2007，27(5)：73-77.
LI Qiang, DOU Xiaobo, WU Zaijun, et al. Communication network of digital substation and improvement of real-time performance[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(5): 73-77.

[6] 于军，熊小伏，张媛．数字化变电站保护系统可靠性新措施及仿真[J]．电网技术，2009，33(4)：28-33.
YU Jun, XIONG Xiaofu, ZHANG Yuang. Research and simulation on new reliability measures for digital substation protection system[J]. Power System Technology, 2009, 33(4): 28-33.

[7] 黄德文，姚明．HSR技术在智能变电站过程层网络的应用探讨[J]．电力系统通信与技术，2014，12 (4)：35-38.
HUANG Dewen, YAO Ming. Application of HSR technology in the intelligent substation process layer network[J]. Electric Power ICT, 2014, 12 (4): 35-38.

[8] 张延旭，蔡泽祥，竹之涵，等．基于传输延时补偿的继电保护网络采样同步方法[J]．电力系统自动化，2015，39(18)：81-85.
ZHANG Yanxu, CAI Zexiang, ZHU Zhihan, et al. Network sampling synchronization of relay protection based on transmission delay compensation[J]. Automation Electric Power System, 2015, 39(18): 81-85.

[9] LI Zhongqing, LIU Kaibo, LI Xiao, et al. Sampled data synchronization scheme for relay protection in smart substation[C]. 2014 International Conference on Power System Technology, 2014: 1778-1784.

作者简介

李仲青（1978－），男，硕士研究生，教授级高工，主要研究方向为电力系统继电保护。

(收稿日期：2018－12－08)EA

李仲青

(上接第 37 页)

2010, 44(7): 73-75.
YANG Zijing, LU Qiwei, WANG Dolun, et al. Development of digital control power supply based on DSP [J]. Power Electronics Technology, 2010, 44(7): 73-75.

[3] 余飞．一种用于智能电器的低成本小功率开关电源的研制[J]．电气技术，2018，19(3)：95-99.
YU Fei. Development of a low-cost low-power switching power supply for intelligent electrical appliances [J]. Electrical Technology, 2018, 19(3): 95-99.

作者简介

陈哲军（1991－），男，硕士研究生，主要从事变电继电保护检修工作。

(收稿日期：2018－11－16)EA

陈哲军