一种高效宽限可编程序逆变电源装置设计与研制

王 建[1,2]，任 炜[3]，姜东岳[1,2]，迟恩先[1,2]，王德涛[1,2]

（1. 山东华天电气有限公司，山东 济南 250101；2. 山东山大华天科技集团股份有限公司，山东 济南 250101；3. 国网山东省电力公司物资公司，山东 济南 250001）

摘要：针对供电半径长、造成末端供电电压低及供电频率稳定性差的问题，研制一种高效宽限逆变电源装置，用于低电压场所，对供电质量要求高的设备，解决线路阻抗高无法起动等问题，提供稳定幅值、频率的正弦波形，满足各种恶劣环境的使用。介绍装置的工作原理及特点，通过试验对其性能进行验证。

关键词：逆变电源；稳压；正弦波；频率

Design and development of a high-efficiency and wide-range programmable inverter power supply

WANG Jian[1.2], REN Wei[3], JIANG Dongyue[1.2], CHI Enxian[1.2], WANG Detao[1.2]

(1. Shandong Hoteam Electric Co., Ltd., Jinan 250101, China; 2. Shandong Hoteam Technologies Co., Ltd., Jinan 250101, China; 3. State Grid Shandong Electric Power Company supplies company, Jinan 250001, China)

Abstract: Aiming at power supply radius long, low power supply voltage at the end, and bad power supply frequency stability problem , a highly efficient grace inverter power supply device is developed. It uses for low voltage, high quality demand of power supply equipment, solves such problems as high line impedance cannot be started, provides stable sine wave amplitude and frequency, meets the use of all kinds of bad environment. The working principle and characteristics of the device are introduced.

Key words: inverter source; steady voltage; sine wave; frequency

0 引言

在户外偏远地区从事勘探或计量等特殊行业，如移动式基站作业的精密设备，对供电的电压幅值、频率和波形等要求较高，在野外作业需要经常移动位置，同时偏远地区由于供电线路长，造成末端供电电压低，电能质量状况差，供电质量无法保证，当采用后备发电机供电时供电频率不稳定，影响精密设备的使用。由于线路阻抗高，线路等效阻抗达到4～6 Ω，设备起动时起动电流大会造成线路压降跌落增大，加剧线路末端的压降。

1 常用方式不足

针对电压低，常采用调压式稳压电源将系统末端电压提升的方式供电，检测电网电压，若电压低于市电额定电压，则由计算机产

生调压指令，将输入电压接入变压器中的不同档位，从而使输出电压稳定在市电额定电压附近，保证负载的正常运行。这种方式不能改变系统的工作频率，电源输出频率随着输入频率的变化而变化，无法满足精密设备的使用要求。采用不间断电源系统（UPS）供电的方式，是以逆变器为主要组成部分的输出恒压恒频不间断电源。输入频率波动时能够保证输出频率的稳定，但不间断电源输入电压范围为±20%，偏远地区供电电压输入低压额定电压的20%以上时，UPS电源停机保护，同时输出电压和频率不可任意设定。无法给用电设备提供稳定的电源。对偏远地区从事勘探或计量等特殊行业，如移动式基站作业的精密设备和其他对供电质量要求高的设备，不能够提供相应的电源装置保证其正常的使用。高效宽限可编程序逆变电源装置针对线路阻抗高无法起动等问题，采用全控整流及独特的软开关技术和输入输出锁相技术，负载适应能力强，包括电容性、电感性和混合性负载定无功输出，适用于供电线路长导致的感性无功大的场合，给用电设备提供可编程幅值、频率的正弦波形，满足各种恶劣环境的使用。

2　高效宽限可编程序逆变电源装置

高效宽限可编程序逆变电源装置系统主要由滤波器、整流器和逆变器三大部分组成。采用全控型交直交变流方式实现装置的性能要求。输入侧的滤波器消除开关纹波，全控整流器及SPWM逆变器有效降低输出谐波干扰。装置系统拓扑如图1所示，经整流器后变为DC电源，再经逆变器将DC电源转变为稳定的AC电源供设备使用，将输入和输出进行完全隔离，避免来自电源输入侧的干扰。输入电压经过全控整流后进行DC/DC变换，输出采用PWM正弦波脉宽调制方式实现交流正弦输出，再采用软起动技术减少冲击电流对输入线路的冲击，全控整流及PWM逆变有效降低输出谐波干扰。输入电压范围宽，相电压满足AC

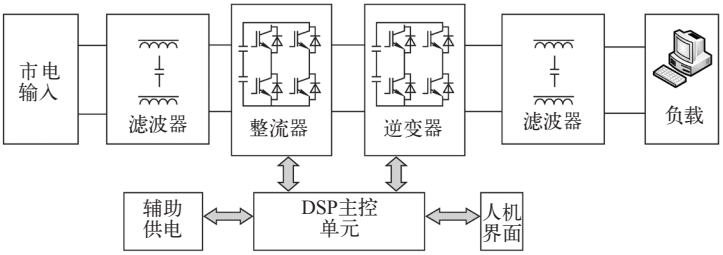


图1　装置系统拓扑

Fig. 1 Device system topology

100～264 V范围内DSP全数字控制，输出稳压准确度高，输出工作电压220 V±1%。当输入电压变化时，输出瞬时响应时间小于0.1 ms，完全响应时间小于10 ms，满足供电设备用电的安全可靠性。

2.1　主控单元的控制逻辑

电源装置主控单元采用32位DSP处理芯片来实现快速响应和控制需求，控制算法逻辑如图2所示。可编程序控制单元通过对输入电压、输出电压进行采样，采用数字锁相技术，根据设定要求在有功波形发生器和无功波形发生器中产生相应的驱动信号，同时根据装置输出反馈的电流信号以及对直流母线的调控，在电压跟踪电流调制发生器中产生实际需要的电压波形信号，通过PWM脉宽调制技术控制装置的输出，产生纯正弦波输出；同时可编程序控制单元根据外接的开关量输入、输出信号等通过保护模块对PWM发生装置进行调整。使输出波形纯净，波形失真率低，电压总谐波畸变率不大于2%。

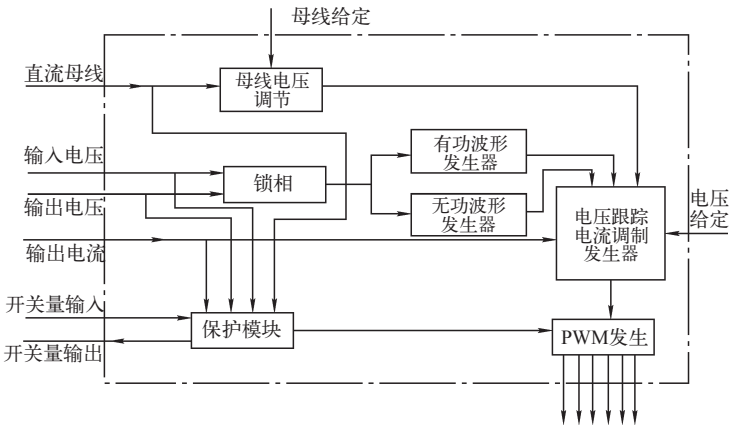


图2　可编程序控制单元的控制算法逻辑图

Fig. 2 Control algorithm logic diagram of PLC

2.2 电压电流生成控制方法

高效宽限可编程序逆变电源装置的DSP主控单元根据人机界面设定的输出控制目标值，对电压、频率和电流进行计算。对于输出电压幅值和频率控制方法如图3a所示，输出电压幅值和频率控制方法是通过可编程序控制单元设定输出工作频率和工作电压，在电压跟踪电流调制发生器中设定的电压有效值和系统采样反馈的有效值做减法，然后通过PI调节产生一个幅值信号；当设定输出工作频率与输入工作频率一致时，输出电压通过锁相器与输入电压锁相，将指令和设定的工作频率信号一起给正弦波表中产生的正弦波，将实际的波形通过正弦波表拆分，$U(t)=U\sin(2\pi f/n)$。根据正弦波表将一个周期内的正弦波进行2 048点的拆分；正弦波表产生的指令信号和PI调节产生的幅值信号进行运算，其运算结果与电压瞬时反馈的信号做减法，再通过PI调节产生一个幅值信号，与第一预设比例系数K_1进行运算得到SPWM电压脉宽信号去驱动IGBT产生设定的幅值、频率的电压波形。

对于输出电流控制方法如图3b所示，输出电流控制是通过可编程序控制单元，在电压跟踪电流调制发生器中设定的直流母线电压值和采样反馈的直流母线电压值做减法，然后通过PI调节产生一个幅值信号；当设定输出工作频率与输入工作频率一致时，输入电压通过锁相器锁相后，将指令信号给正弦波表中产生的正弦波， 将实际的波形通过正弦波表拆分，$I(t)=I\sin(2\pi f/n)$。根据正弦波表将一个周期内的正弦波进行2 048点的拆分；正弦波表产生的指令信号和PI调节产生的幅值信号经过Clark/Park变换，通过瞬时无功理论使电流实现完全解耦，同时在旋转坐标下进行电流跟踪控制的PID运算得到调节值，调节值和第二预设比例系数K_2进行运算的结果与电流瞬时值反馈的信号做减法，然后通过PI调节器处理，再与第三预设比例系数K_3进行运算得到SPWM电流脉宽信号去驱动IGBT产生需要的电流。通过控制正弦波表中拆分点的数量，来控制输出达到额定电流的时间，从而将起动时电流控制到目标值，保障装置在高阻抗系统中安全起动运行。

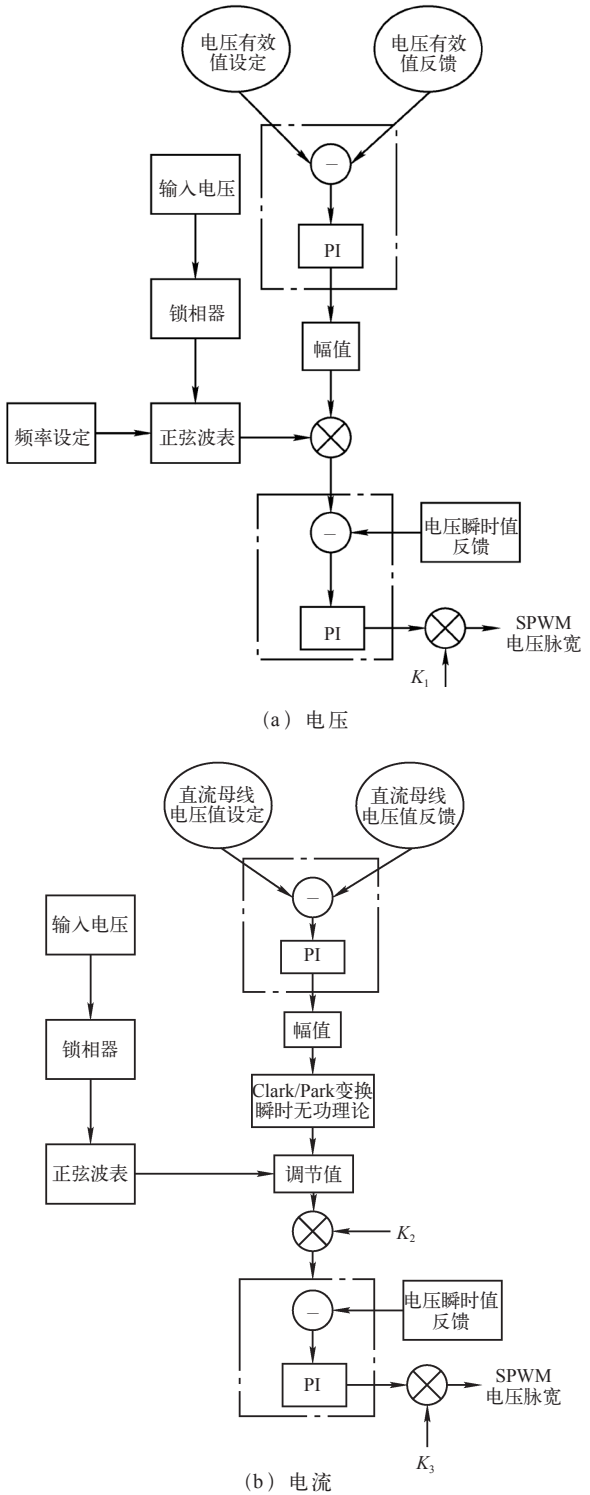


图3 电压和电流控制流程

Fig. 3 Flow chart of voltage and current control

3　10 kW高效宽限可编程序逆变电源装置

以10 kW高效宽限可编程序逆变电源装置为例，其外观如图4a所示，主回路单元采用模块化结构设计，体积小，重量轻，安全可靠，方便扩容使用，可安装在移动式基站的网络机柜内，也可以单独使用，方便与现场设备对接。主界面如图4b所示，显示触摸屏主界面通过RS 485通信与可编程序控制单元相连接。实现双向的数据连接，对装置进行起动停止控制，显示装置运行的电源输入、输出电压电流的数值；装置运行时的状态信息包括其内部关键器件工作的实时温度情况，如工作电压电流等，历史事件记录，便于对装置运行状况的了解；并通过显示触摸屏进行相应的参数设置，如输出电压、频率、母线工作电压、稳压范围及准确度等重要参数设定。实现宽范围的输入电压调节，满足输出电压准确度1%的控制要求，同时设置有变频功能，输入电压工作频率范围宽，输入频率允许50 Hz±10%范围内波动，输出频率准确度为1%，工作频率和输出电压值都可以根据需求设定。

（a）外观图

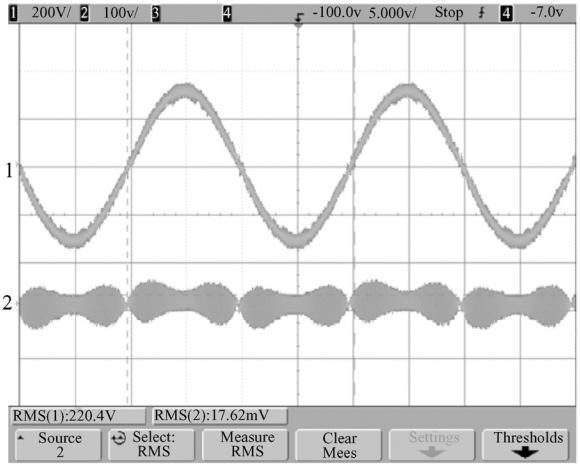
（b）主界面

图4　10 kW高效宽限可编程序逆变电源装置

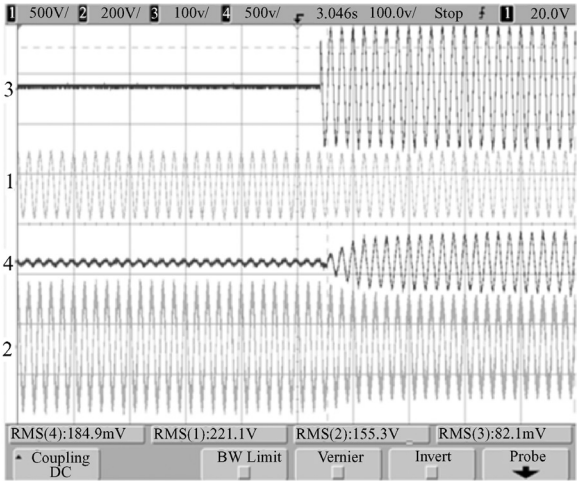
Fig. 4 10 kW high efficiency and wide range programmable inverter

3.1　装置功能测试

对研制的电源装置进行通电测试，测试装置起动过程中的工作状态，高效宽限可编程序变频变压起动后输出波形如图5a所示，输出电压波形1为220 V正弦波，输入空载电流2为2 A左右（10 mV/A）。带载起动波形如图5b所示。采用全控整流和软开关技术，起动时电流缓慢增加，降低起动电流冲击，不会因为起动冲击造成设备保护停机。装置稳定运行后，输入电流为18.4 A；输出电压为221.1 V，输出电流为8.2 A。起动后，由于线路带载原因，输入电压由155 V降至114 V，输出电压不变，稳定在额定输出。



（a）空载运行



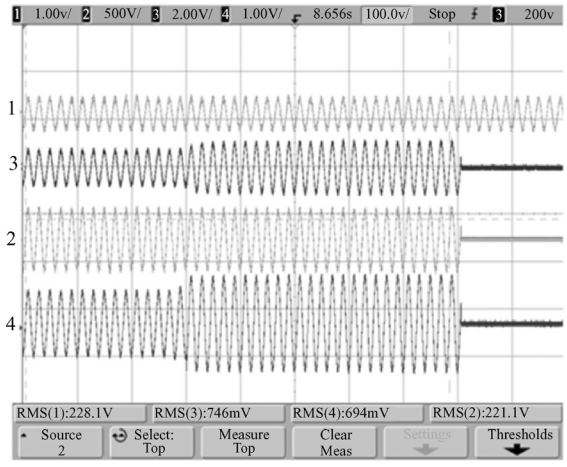
（b）带载起动

图5　装置运行波形

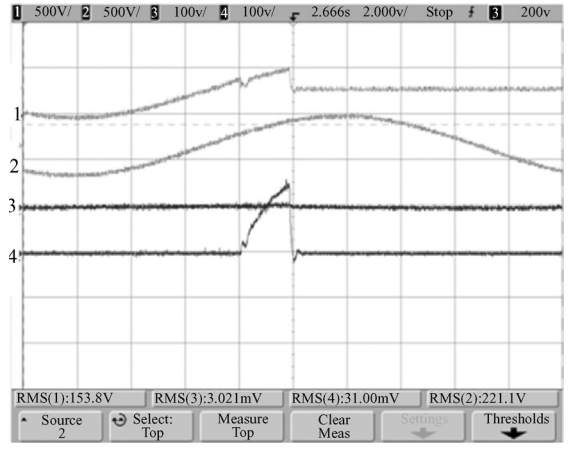
Fig. 5 Operation waveform of the device

3.2 装置保护测试

装置通过人机界面设定输入的欠电压和过电压保护值，当输入电压降低至80 V或者高于280 V时，装置输出保护。电源过载保护采用有效值保护功能和瞬时值保护功能。图6a为高效宽限可编程序变频变压过载保护波形，过载200%以内时，有效值保护延时500 ms，电源输出断开；图6b为高效宽限可编程序变频变压保护瞬间波形，过载超过200%时，采用瞬时值保护，动作时间为2 ms。装置输出短路时，短路瞬时值保护125 μs。



（a）有效值保护



（b）瞬时值保护

图6 装置过载保护波形

Fig. 6 Overload protection waveform of device

通过10 kW高效宽限可编程序逆变电源装置的实际效果测试，达到预期设计的目标要求，且安全可靠。能够解决供电半径长、线路阻抗高、造成线路末端电压低及频率波动的问题，实现数字化控制。由于采用闭环控制输出准确度高，实际输出电压与设定输出电压之间误差不大于1%。装置采用模块化结构，方便现场安装和扩容。

4 结束语

本文提出的一种高效宽限可编程序逆变电源装置的研制，满足了偏远地区从事勘探或计量等特殊行业对优质供电的要求，解决精密设备和其他对供电质量要求高的设备无法起动等问题。为设备提供一个宽输入的供电范围，输出幅值、频率稳定的绿色交流电源，为重要负荷的安全运行提供了可靠保障。

参考文献

[1] 山东山大华天科技集团股份有限公司．一种高效宽限可编程逆变电源装置及其控制方法(ZL 2017 1 0641569.X) [P]．2019．

[2] 袁义生，邱志卓，钟青峰，等．逆变器开关管变驱动电流技术研究[J]．电源学报，2019(5)：133-139．

[3] 丁志强．电源电路设计技巧[M]．北京：科学出版社，2013．

[4] 贾德利．IGBT逆变电源的设计与应用[M]．哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2012．

[5] 李澎信，朱兴发．串联谐振型逆变电源的节能设计方法与调试[M]．北京：机械工业出版社，2016．

[6] 重要电力用户供电电源及自备应急电源配置技术规范：GB/T 29328—2018[S]．

作者简介

王 建

王建（1982－），男，高级工程师，长期从事电能质量类产品、定制电源类产品的设计开发以及技术支持工作。

(收稿日期：2019－12－31)EA