

光伏并网逆变器电子防孤岛保护测试装置及其应用

徐在德¹, 范瑞祥¹, 章辉², 黄新³, 李晓龙⁴, 刘心悦⁵

(1. 国网江西省电力公司电力科学研究院, 江西 南昌 330096; 2. 江苏同芯电气科技有限公司, 江苏 南京 210000;
3. 国网江西省电力公司宜春供电分公司, 江西 宜春 336000; 4. 国网山东省电力公司济宁供电分公司, 山东 济宁 272000;
5. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:为了提高光伏并网逆变器的防孤岛测试水平、有效地解决传统 RLC 负载测试条件的限制, 提出实时功率匹配的三相四线制背靠背结构电力电子防孤岛保护策略, 并研制了 30 kW 防孤岛保护测试装置, 装置输入侧模拟交流电压源实现光伏并网逆变器与测试装置在有功功率、无功功率的高精度匹配, 输出侧将从输入侧吸收的有功功率高效逆变反馈给电网。该控制算法采用自适应模糊比例积分 (PI) 控制。将该装置与传统 RLC 负载防孤岛测试进行防孤岛性能对比, 实验结果证明电力电子防孤岛保护测试装置响应速度快、测试精度高、操作便捷、不受外部环境的影响。

关键词:光伏并网逆变器; 电子防孤岛保护; 三相四线制; 逆变器; RLC 负载

中图分类号: TM 464

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.04.020

0 引言

近年来, 分布式新能源发电凭借其经济性和有效性一直保持着持续增长的态势, 其接入配电网也给电网带来了一系列的难题, 其中孤岛是目前研究最广泛的课题之一。一旦发生孤岛, 可能会造成诸如人身安全、电能质量、保护误动等方面的问题^[1-3]。根据国家相关标准要求, 逆变器并入 10 kV 及以下电压等级配电网应具有防孤岛效应保护功能。若电网供电中断, 并网逆变器应在 2 s 内停止向电网供电, 同时发出报警信号。

目前, 随着光伏并网逆变技术的成熟, 已经涌现出许多孤岛检测算法, 大致归纳分为两大类: 被动式和主动式。被动式检测技术是基于检测电压、频率、有功功率、无功功率等参数是否越限来判断孤岛, 其主要的优势在于不会对电能质量产生影响, 但存在较大的检测盲区; 主动式检测技术是向逆变器电流的幅值、频率、相位等注入扰动量, 在孤岛发生时引起并网点相关参数发生变化来判别孤岛状态, 其主要优势在于减小甚至消除了盲区, 但随之带来的是恶化电网的电能质量甚至影响电网的稳定性^[4-5], 目前光伏并网逆变器防孤岛检测算法主要采用主动+被动的检测方式。

目前, 光伏并网逆变器防孤岛保护主要采用可调并联 RLC 模拟负载进行实验室测试, 国网电力科学研究院、国网河南省电力公司电力科学研究院、华北电力大学等研究院所及高校对逆变器防孤岛保护采用传统 RLC 负载测试方法^[6-8], 该测试方法不仅测试流程复杂, 同时测试条件要求苛刻。随着电力电子技术的发展, 脉宽调制 (PWM) 控制技术越来越成熟, 不仅能准确地控制整流、逆变器实

现电压源及电流源, 同时可实现能量的双向传输^[9-12]。依据 IEC62116—2008 标准^[13]中明确给出光伏并网逆变器测试不仅可以利用传统 RLC 负载, 同时可以利用电力电子模拟负载, 国网江西省电力公司电力科学研究院在国内率先利用电力电子技术开发电力电子防孤岛测试装置, 在控制策略上采用自适应模糊比例积分 (PI) 控制器, 不仅克服了传统的 PI 控制器无法保证有功指令或无功指令对稳态精度以及动态性能的问题, 并且对参数因为环境等而发生变化等因素具有较好的抑制能力; 装置拓扑创新地采用背靠背三相四线制拓扑结构, 实现与光伏并网逆变器功率的高精度实时匹配, 且自动生成模拟参数 R 、 L 、 C , 智能地计算有功功率、无功功率与额定值的偏差百分比, 实现了光伏并网逆变器防孤岛功能的自动化测试, 同时将全过程测试能量反馈给电网, 实现能量的循环利用, 克服了传统测试的种种限制弊端, 提高了测试精度, 规范了测试流程。

1 电子防孤岛测试装置的优势

1.1 传统测试方法

传统 RLC 负载防孤岛保护试验平台如图 1 所示, 其主要由光伏电池板/直流源、并网逆变器、RLC 测试单元、数字示波器、大电网组成, 测试方法首先闭合 K_1 , 然后闭合 K_2 , 通过调节电阻 R 、电感 L 、电容 C 的值, 实现 K_1 侧电流接近为 0 时, 断开 K_1 , 最后依据测试标准, 逐步开展有功功率、无功功率与额定值的偏差百分比实验, 通过数字示波器监测人工调节 RLC 负载的输入功率接近光伏并网逆变器的并网功率。RLC 测试装置的缺点是: 不仅体积庞大、造价高、消耗大量的电能, 同时匹配过程复杂, 并且难以准确地实现功率完全匹配。

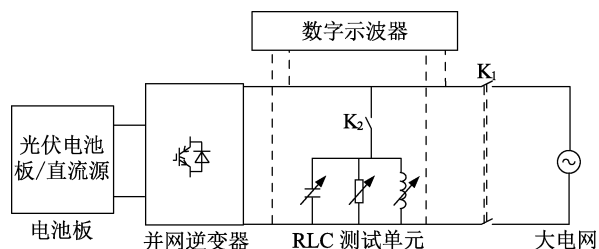


图 1 传统 RLC 负载防孤岛保护试验平台示意图

Fig.1 Schematic diagram of traditional RLC load anti-islanding protection test platform

1.2 电子防孤岛测试系统

电子防孤岛保护测试系统如图 2 所示,其由光伏电池板/直流源、并网逆变器、电子防孤岛测试装置、大电网组成,其中电子防孤岛测试装置串联于直流源与大电网中间;电子防孤岛测试装置主要由直流侧、输入侧、输出侧三部分组成,其中输入侧及输出侧均为四桥臂 IGBT、滤波电抗器,直流侧由稳压电容组成。

电子防孤岛测试装置从电网侧吸收能量稳定直流侧电压,待直流侧电压稳定后,输入侧逆变形成电压源,光伏并网逆变器检测到稳定频率的电压源后实时跟踪电压输出,并网逆变器功率潮流流向电子防孤岛输入侧,输出侧通过四象限控制策略将能量反馈给电网。

电子防孤岛测试装置输入侧跟踪检测电压、电流,实时计算光伏并网逆变器有功功率、无功功率及等效的 R 、 L 、 C 参数,依据等效 R 、 L 、 C 参数,根据 IEC62116—2008 标准开展有功功率、无功功率与额定值的偏差百分比实验。

1.2.1 检测原理

当光伏逆变器进行孤岛检测时,设备先作为交流电压源运行,输出稳定幅值与频率的电压;同时实时检测设备输入的有功与无功功率,依据有功功率、无功功率、输出电压以及需要的品质因数 Q_f ,实时计算需要模拟的负载电阻 R 、负载电感 L 、负载电容 C 。发生谐振时感抗与电阻 R 之比称为谐振品质因数 Q_f ,如式(1)所示。

$$Q_f = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{RC\omega_0} \quad (1)$$

其中, ω_0 为基波角频率。

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得:

$$1/Q_f = R\sqrt{C/L} \quad (3)$$

模拟电阻 R 由输出电压 U 与功率 P 的比值得到,如式(4)所示。

$$R = U^2/P \quad (4)$$

由式(1)可得到模拟电感 L 为:

$$L = \frac{Q_f R}{2\pi f} \quad (5)$$

无功功率由容性功率减去感性功率得到:

$$Q = 2\pi f C U^2 - U^2/(2\pi f L) = 2\pi f C U^2 - U^2/(Q_f R) \quad (6)$$

由式(6)推导得到模拟电容 C ,如式(7)所示。

$$C = \frac{1}{2\pi f} \left(\frac{Q}{U^2} + \frac{1}{Q_f R} \right) \quad (7)$$

现场光伏并网逆变器输出功率随着光照等因素变化,所以 R 、 L 、 C 的数值也跟随变化。在接收到孤岛模式指令命令后,控制系统实时计算模拟参数 R 、 L 、 C ,通过自适应模糊 PI 调节器调节计算输出的电压。

1.2.2 控制系统设计

防孤岛保护测试装置的控制主电路如图 3 所示,电子防孤岛测试装置有 2 种工况:电压源模式、电子防孤岛测试模式,电压源模式启动后转为电子防孤岛测试模式,其中当处于电压源模式时,输出侧检测电网电压、频率参数后,吸收电网侧能量以稳定直流侧电压、输入侧逆变三相电压,待光伏并网逆变器在输入侧输送能量后,为了维持直流侧电压稳定,输出侧将能量逆变回电网。

1.2.3 自适应模糊 PI 调节器设计

采集电子防孤岛输入侧交流电母线的三相电压 u_a 、 u_b 、 u_c ,计算电压的幅值与频率,依据需要模拟的 RLC 负载参数实时计算有功指令 P^* 与无功指令 Q^* ,通过自适应模糊 PI 调节器计算需要输出的电压大小与频率,经过脉冲生成模块产生 16 路脉冲控制 4 个 H 桥工作。逆变器的输出功率跟随交流电压和 RLC 参数变化而变化,在基频上的响应与真实

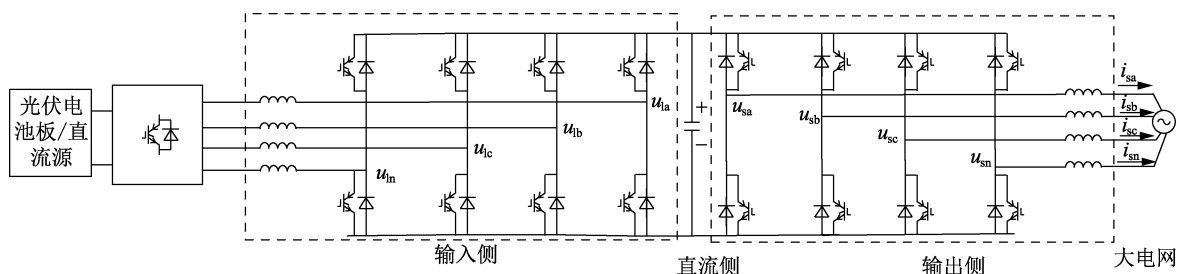


图 2 电子防孤岛保护试验平台示意图

Fig.2 Schematic diagram of electronic anti-islanding protection test platform

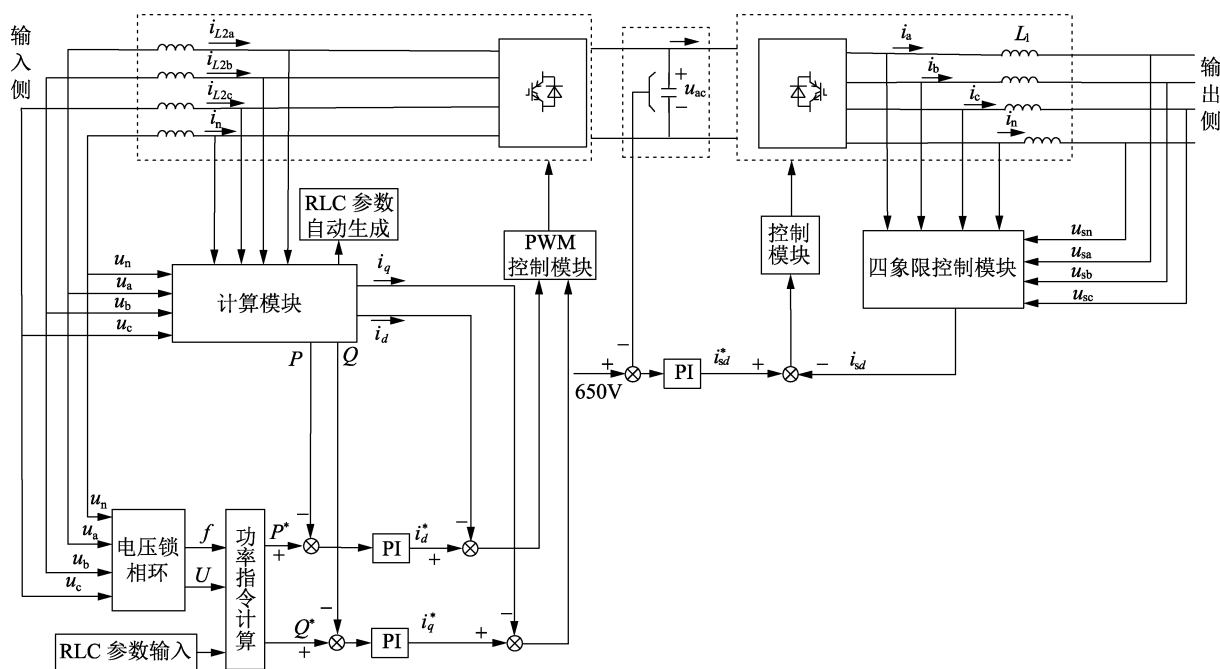


图3 防孤岛保护测试装置控制系统

Fig.3 Control system of anti-islanding protection test device

RLC 负载一致,如图3所示该过程包括有功比较单元和无功比较单元。

设有功率指令为:

$$P^* = U^2/R \quad (8)$$

无功功率指令为:

$$Q^* = U^2 \times 2\pi f C - [U^2 / (2\pi f)] L \quad (9)$$

反馈有功计算为:

$$P = u_\alpha i_\alpha + u_\beta i_\beta \quad (10)$$

反馈无功计算为:

$$Q = u_\alpha i_\beta - u_\beta i_\alpha \quad (11)$$

其中, u_α, u_β 分别为实时检测计算直轴、交轴电压; i_α, i_β 分别为实时检测计算直轴、交轴电流。

将 P^* 与 P 和 Q^* 与 Q 的差作为自适应模糊 PI 调节器的输入,其具体的设计方案如下。

自适应模糊 PI 调节器是以常规 PI 控制为前提,采用模糊推理思想,将误差 e 和误差变化率 e_c 作为模糊控制器的 2 个输入量,通过模糊控制器的输出变量,利用模糊规则对比例积分微分 (PID) 参数进行实时整定,从而使 PID 参数最优。自适应模糊 PID 控制结构如图4所示。

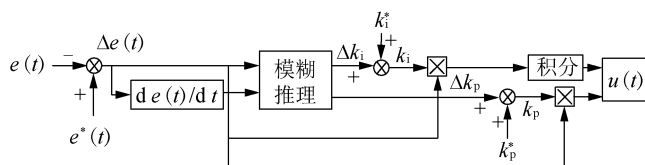


图4 自适应模糊 PID 控制结构

Fig.4 Structure of adaptive fuzzy PID control

模糊控制的基本思想是对 2 个参数进行实时整

定,以满足不同输入误差量 e 和误差变化率 e_c ,确保被控对象有良好的动静态性能。首先根据经验值设定 k_p^*, k_i^* 的值,然后通过模糊推理得到修正值 $\Delta k_p, \Delta k_i$,由经验值和修正值得到最优 k_p 和 k_i 。

$$\begin{cases} k_p = k_p^* + \Delta k_p \\ k_i = k_i^* + \Delta k_i \end{cases} \quad (12)$$

其中, k_p 为比例系数; k_i 为积分系数; k_p^*, k_i^* 为系统的经典 PI 参数; $\Delta k_p, \Delta k_i$ 为模糊推理得到的调整值。根据图4由 PI 的控制算式实现了对 PI 参数的优化:

$$\Delta e(t) = e^*(t) - e(t) \quad (13)$$

$$u(t) = k_p \Delta e(t) + k_i \int_0^t \Delta e(t) dt \quad (14)$$

2 装置开发

2.1 装置参数设计

本文通过开发 30 kW 装置,其中交流电网电压设置为 220 V,频率为 50 Hz;输出侧滤波电感为 0.2 mH,输入侧滤波电感为 0.15 mH,品质因数设为 0.11 ~ 10 可调。

2.2 装置性能

2.2.1 上位机开发

上位机用来设定装置控制指令、参数设置及显示功能,其中控制指令包括网侧启/停、AC 侧启/停、孤岛启/停、故障复位、运行模式;参数设置主要包括电压、电流保护定值,根据被测逆变器功率不同,设定不同的保护定制;界面显示各部分电压、电流、功率数值及波形,设备故障各种具体故障信息等。

在接收到孤岛负载启动命令后,以最后时刻计算

的负载参数值作为孤岛负载参数,即可按照实验标准中要求的负载匹配各种工况的防孤岛保护测试实验,使防孤岛保护测试实验可以在光伏电站现场进行。

2.2.2 装置保护定值设定

实验过程设置电子防孤岛输入侧线电压有效值输出为 250 V,如图 5 所示。过压保护和过流保护的波形分别如图 6、图 7 所示(图 7 中 I_a 为 a 相电流)。

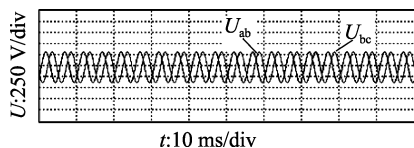


图 5 正常电压波形

Fig.5 Normal voltage waveforms

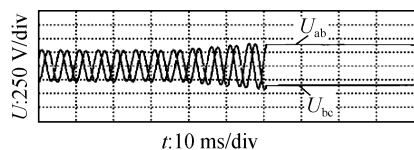


图 6 过压保护波形

Fig.6 Waveforms of overvoltage protection

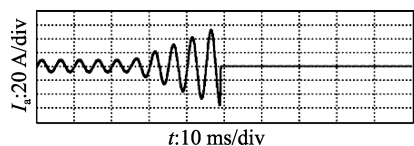


图 7 过流保护波形

Fig.7 Waveforms of overcurrent protection

由图 6 可知,在设定电子防孤岛装置输入侧电压保护定值有效值为 320 V、输出电压超过保护定值时,电子防孤岛装置自动保护停机;由图 7 可知,在设定电子防孤岛装置输入侧电流保护的定值有效值为 40 A、输入电流超过保护定值时,电子防孤岛装置自动停机保护。

3 实验

3.1 实验结果

电力电子孤岛负载模拟装置试验主要为功率全匹配实验、有功偏移与额定值的偏差为 5% 的实验、有功偏移与额定值的偏差为 10% 的实验、无功偏移与额定值的偏差为 5% 的实验、无功偏移与额定值的偏差为 10% 的实验。电力电子孤岛负载模拟装置试验波形如图 8—12 所示。

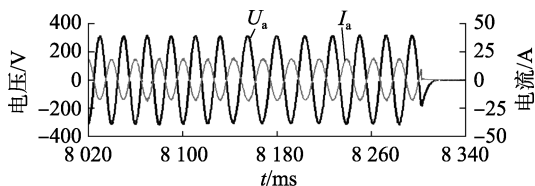


图 8 功率完全匹配实验结果

Fig.8 Test results of power matching

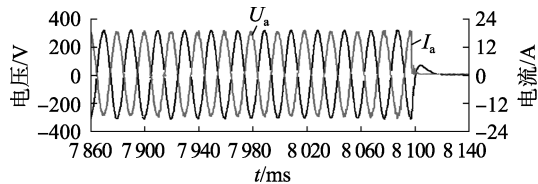


图 9 有功功率匹配偏差 5% 的实验结果

Fig.9 Test results of active power matching deviation 5%

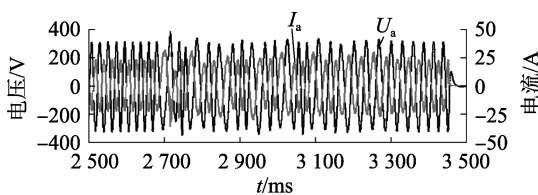


图 10 有功功率匹配偏差 10% 的实验结果

Fig.10 Test results of active power matching deviation 10%

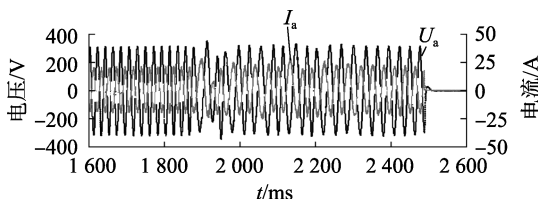


图 11 无功功率匹配偏差 5% 实验结果

Fig.11 Test results of reactive power matching deviation 5%

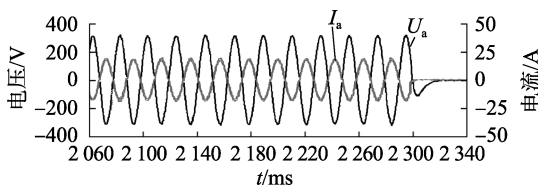


图 12 有功功率匹配偏差 10% 实验结果

Fig.12 Test results of reactive power matching deviation 10%

图 8 为功率全匹配实验结果,在 8 060 ms 启动电子防孤岛设备后功率完全匹配,光伏并网逆变器在 8 300 ms 时刻停机保护,用时 0.24 s;图 9 为有功偏移与额定值的偏差为 5% 的实验结果,在 7 900 ms 启动电子防孤岛设备后功率完全匹配,光伏并网逆变器在 8 100 ms 时刻停机保护,用时 0.2 s;图 10 为有功偏移与额定值的偏差为 10% 的实验结果,在 2 400 ms 启动电子防孤岛设备后功率完全匹配,光伏并网逆变器在 3 400 ms 时刻停机保护,用时 1 s;图 11 为无功偏移与额定值的偏差为 5% 的实验结果,光伏并网逆变器在 1 600 ms 启动电子防孤岛设备后功率完全匹配,在 2 500 ms 时刻停机保护,用时 0.9 s;图 12 为无功偏移与额定值的偏差为 10% 的实验结果,在 2 060 ms 启动电子防孤岛设备后功率完全匹配,光伏并网逆变器在 2 300 ms 时刻停机保护,用时 0.24 s。上述实验均满足国标要求。

3.2 实验结果与传统 RLC 负载防孤岛测试结果对比分析

对不同容量逆变器在不同功率下采用电子防

孤岛及传统 RLC 负载防孤岛测试进行对比实验,分别进行 20 kW 光伏并网逆变器 100% 功率、60% 功率、33% 功率下的实验,10 kW 光伏并网逆变器 100% 功率、60% 功率、33% 功率下的实验,进行了有功功率与无功功率偏差的 9 种工况实验,结果如图 13—18 所示(图中横轴坐标表示 9 种工况,括号中前一个数值为有功误差,后一个数值为无功误差)。通过各种工况实验可以发现,传统 RLC 负载防孤岛测试方法与电子防孤岛测试方法的结果一致且均满足国标要求。

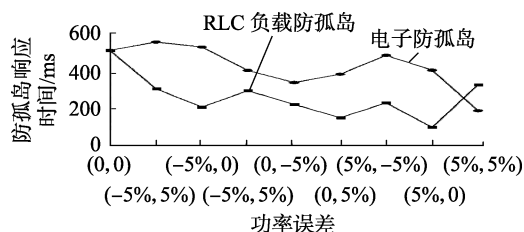


图 13 20 kW 光伏并网逆变器 100% 功率条件下实验结果

Fig.13 Test results of 20 kW photovoltaic grid-connected inverter in 100% power condition

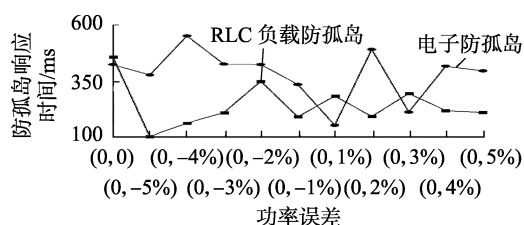


图 14 20 kW 光伏并网逆变器 60% 功率条件下实验结果

Fig.14 Test results of 20 kW photovoltaic grid-connected inverter in 60% power condition

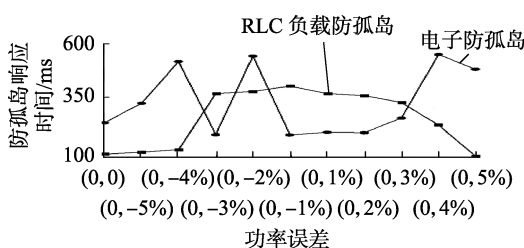


图 15 20 kW 光伏并网逆变器 33% 功率条件下实验结果

Fig.15 Test results of 20 kW photovoltaic grid-connected inverter in 33% power condition

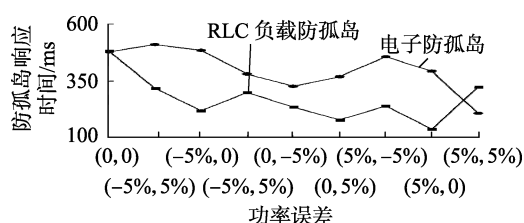


图 16 10 kW 光伏并网逆变器 100% 功率条件下实验结果

Fig.16 Test results of 10 kW photovoltaic grid-connected inverter in 100% power condition

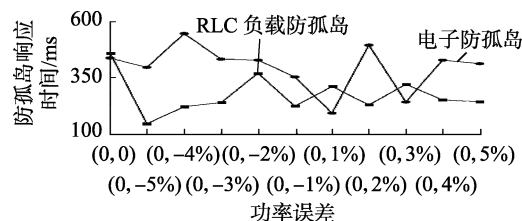


图 17 10 kW 光伏并网逆变器 60% 功率条件下实验结果

Fig.17 Test results of 10 kW photovoltaic grid-connected inverter in 60% power condition

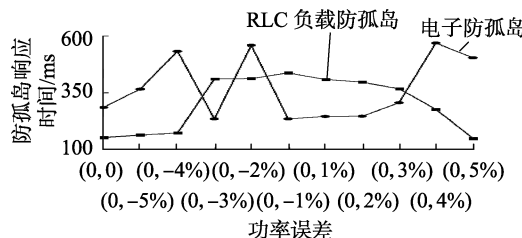


图 18 10 kW 光伏并网逆变器 33% 功率条件下实验结果

Fig.18 Test results of 10 kW photovoltaic grid-connected inverter in 33% power condition

4 结论

本文研究的具有能量回馈型的电力电子防孤岛保护测试装置比传统 RLC 负载防孤岛测试装置具有明显的优越性,具体特点如下。

a. 采用了实时控制技术,可以实时检测光伏逆变器输出的有功和无功并实时计算需要模拟的负载电阻、电感、电容。进行孤岛测试时,可以按照国标中要求的负载匹配各种工况的防孤岛保护测试实验,使防孤岛保护测试实验可以不受现场条件约束。

b. 能够精确模拟纯阻性、阻容性、阻感性、非线性等不同的负载电特性,并通过安装在微机上的上位机,控制防孤岛保护测试的开启与停止,观察整个过程中的有功功率、感性无功、容性无功、功率因数、电压频率等参数并可将来重要数据自动存储供日后查看,还可以设置电阻值、电感值、电容值,自动化程度高。

c. 采用电力电子全控型开关器件和电力电子变流技术可以吸收或发出有功功率与无功功率,模拟并替换 RLC 并联负载,还可以将有功能量回馈电网。如果忽略无功功率和功率半导体开关器件的损耗,则在整个测试过程中测试的电能量几乎能全部回馈电网,因而避免了能量的大量浪费。

此外,由于电力电子负载设备简便、体积小、重量轻,不需要大面积的厂房,大幅降低了测试人员的劳动强度,也便于现场测试。同时摒弃了传统机械方式的负载调整,提高了实验设备的使用寿命,减少了实验设备的维护成本。由于能量回馈型电力电子防孤岛装置具有显著的节能效果、控制灵活方便、功能强大,非常符合我国的节能减排政策,在新能源并网系统中有着广泛的应用前景。此装置的推广使用可大幅提高新能源并网系统的稳定性与安全性,提

高供电质量和可靠性,而且还具有非常好的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 侯梅毅,高厚磊,刘炳旭,等. 基于相位偏移的孤岛检测新方法[J]. 电力自动化设备,2009,29(11):22-26.
HOU Meiyi, GAO Houlei, LIU Bingxu, et al. Islanding detection method based on phase shift[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(11): 22-26.
- [2] 王晓刚,肖立业. 不平衡情况下基于电压正反馈的孤岛检测方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):104-108.
WANG Xiaogang, XIAO Liye. Islanding detection method based on voltage positive feedback in unbalance condition[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(4): 104-108.
- [3] 贺眉眉,李华强,陈静,等. 基于离散小波变换的分布式发电孤岛检测方法[J]. 电力自动化设备,2012,32(10):103-108.
HE Meimei, LI Huaqiang, CHEN Jing, et al. Islanding detection based on discrete wavelet transform for distributed generation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(10): 103-108.
- [4] 李军,黄学良,陈小虎,等. 基于双重判据的微电网快速孤岛检测技术[J]. 电力自动化设备,2012,32(5):38-42,56.
LI Jun, HUANG Xueliang, CHEN Xiaohu, et al. Detection of islanded microgrid based on double criterions[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(5): 38-42, 56.
- [5] 夏永洪,黄新,辛建波,等. 一种混合式光伏逆变器反孤岛策略[J]. 可再生能源,2015,33(7):987-992.
XIA Yonghong, HUANG Xin, XIN Jianbo, et al. A hybrid photovoltaic inverter anti-islanding strategy[J]. Renewable Energy Resources, 2015, 33(7): 987-992.
- [6] 冯炜,林海涛,张羽. 配电网低压反孤岛装置设计原理及参数计算[J]. 电力系统自动化,2014,38(2):85-90,121.
FENG Wei, LIN Haitao, ZHANG Yu. Design principle and parameter calculation for distribution network low voltage anti-islanding devices[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(2): 85-90, 121.
- [7] 李红涛,张军军,包斯嘉,等. 小型并网光伏电站移动检测平台设计与开发[J]. 电力系统自动化,2011,35(19):39-42.
LI Hongtao, ZHANG Junjun, BAO Sijia, et al. Design and development of a mobile detection platform for grid connection of small photovoltaic power stations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(19): 39-42.
- [8] 谢惠藩,张尧,夏成军,等. SVC对特高压紧急直流功率支援的影响[J]. 电力自动化设备,2009,29(1):6-10.
XIE Huifan, ZHANG Yao, XIA Chengjun, et al. Influence of SVC on UHV emergency DC power support[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(1): 6-10.
- [9] 王鹤,李国庆. 含多种分布式电源的微电网控制策略[J]. 电力自动化设备,2012,32(5):19-23.
WANG He, LI Guoqing. Control strategy of microgrid with different DG types[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(5): 19-23.
- [10] 张保会,汪成根,郝治国. 电力系统失步解列存在的问题及需要开展的研究[J]. 电力自动化设备,2010,30(10):1-6.
ZHANG Baohui, WANG Chenggen, HAO Zhiguo. Problems and solutions of power system out-of-step islanding[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(10): 1-6.
- [11] 尹璐,赵争鸣,贺凡波,等. 具有高功率因数的三相光伏并网逆变器控制算法[J]. 电力自动化设备,2012,32(10):1-5,11.
YIN Lu, ZHAO Zhengming, HE Fanbo, et al. Control algorithm for three-phase grid-connected photovoltaic inverter with high power factor[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(10): 1-5, 11.
- [12] 汪少勇. 基于分布式电源的微网的设计与运行[J]. 电力自动化设备,2011,31(4):120-123.
WANG Shaoyong. Design and operation of micro-grid based on distributed generation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(4): 120-123.
- [13] IEC. Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters: IEC62116-2008[S]. [S. l.]: IEC, 2008.

作者简介:



徐在德(1984—),男,山东寿光人,高级工程师,硕士,研究方向为新能源并网控制技术(E-mail: xuzaidexuzaide@163.com)。

Electronic anti-islanding protection test device of photovoltaic grid-connected inverter and its application

XU Zaide¹, FAN Ruixiang¹, ZHANG Hui², HUANG Xin³, LI Xiaolong⁴, LIU Xinyue⁵

(1. State Grid Jiangxi Electric Power Research Institute, Nanchang 330096, China; 2. Jiangsu Tongxin

Electric Technology Co., Ltd., Nanjing 210000, China; 3. State Grid Jiangxi Electric Power Company Yichun Power Supply Branch, Yichun 336000, China; 4. State Grid Shandong Electric Power Company Jining Power Supply Branch, Jining 272000, China;

5. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In order to improve the anti-islanding level of photovoltaic grid-connected inverter and solve the limitation of traditional RLC load test conditions effectively, a strategy for three-phase four-wire back-to-back electronic anti-islanding protection is proposed with real-time power matching, and a 30 kW electronic anti-islanding protection test device is developed. The input side of the device simulates AC voltage source to realize high accuracy matching of active power and reactive power between photovoltaic grid-connected inverter and the test device. The output side of the device feedbacks the active power absorbed from the input side to the power grid efficiently. Adaptive fuzzy PI control is used in the control algorithm. Compared with the traditional RLC load anti-islanding test, experimental results show that the designed electronic anti-islanding protection test device has the advantages of fast response, high test precision, convenient operation, and is not affected by the external environment.

Key words: photovoltaic grid-connected inverter; electronic anti-islanding protection; three-phase four-wire system; electric inverters; RLC load