

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.02.009

# 滑膜频率偏移法和过/欠频被动法结合的混合孤岛检测法\*

余运俊<sup>1,2</sup> 袁国瑛<sup>1</sup> 范瑞祥<sup>2</sup> 朱建勇<sup>3</sup> 纪清照<sup>2</sup>

(1. 南昌大学 信息工程学院 南昌 330031; 2. 国网江西省电力科学研究院 南昌 330096;  
3. 华东交通大学 电气工程学院 南昌 330096)

**摘要:** 孤岛检测是光伏并网系统安全运行的一个重要保证。目前对过/欠频被动法和滑膜频率偏移法的改进研究很多,但没有改善负载消耗功率和逆变输出功率匹配度高时,过/欠频检测盲区大的缺点,没有改善滑膜频率偏移法对电能质量影响大的缺点。基于此,提出一种基于滑膜频率偏移法和过/欠频被动法结合的混合孤岛检测法。这种算法能够对上述孤岛检测方法的缺点做出改进,能够避免系统突变因素造成断开逆变输出的误动作,能够实时跟踪负载的变化切换不同的算法。在MATLAB\simulink和光伏微网实验系统中进行孤岛检测实验,实验结果证明了理论分析的正确性。

**关键词:** 过/欠频被动法;滑膜频率偏移法;检测盲区;电能质量

**中图分类号:** TP23;TN919.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8060

## Mixed islanding detection method based on slide-mode frequency and OFP/UFP islanding detection method

Yu Yunjun<sup>1,2</sup> Zhong Guoying<sup>1</sup> Fan Ruixiang<sup>2</sup> Zhu Jianyong<sup>3</sup> Ji Qingzhao<sup>2</sup>

(1. School of Information Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China;  
2. Jiangxi Electric Power Science Research Institute, Nanchang 330096, China;  
3. Electrical Engineering College, Huadong Jiaotong University, Nanchang 330096, China)

**Abstract:** Islanding detection is an important guarantee for the safe operation of photovoltaic grid connected system. At present, there are a lot of improvement researches on slide-mode frequency(SMS) and OFP/UFP islanding detection method(IDM), but the disadvantage of large non-detection zone (NDZ) of OFP/UFP is not changed when the matching degree of load consumption power and inverter output power is high, the disadvantage of large influence to power quality of SMS is not changed. A mixed islanding detection method based on SMS and OFP/UFP is proposed. The NDZ of OFP/UFP and the influence to power quality of SMS is decreased. The malfunction of the system which is caused by the abrupt change of the system was avoided. It can switch different IDM algorithms when the load is changed. Islanding detection experiment is carried out in MATLAB\Simulink and photovoltaic micro-grid experiment system. The experimental result verifies the correctness of theoretical analysis.

**Keywords:** OFP/UFP; SMS; NDZ; power quality

## 1 引言

孤岛效应是指电网因为某种原因断开后,光伏发电

系统继续向负载供电,从而形成一个无法控制的本地网络<sup>[1-2]</sup>。孤岛效应发生后可能会引起电网频率和电压的变化,影响电能传输质量,严重时可能造成用电设备的损坏。孤岛发生后也会危及电网线路维修人员的安全,因

收稿日期:2016-06 Received Date: 2016-06

\* 基金项目:国家自然科学基金(61563034);国家国际科技合作专项(2014DFG72240)、江西省自然科学基金(20151BAB206051)、江西省科技支撑计划(2013BBE50102)、南昌大学研究生创新专项(cx2016257)资助

此研究孤岛检测方法及其保护措施,将孤岛产生的危害降到最小有着重要的现实意义<sup>[3-5]</sup>。

孤岛检测方法分为两大类,被动法和主动法<sup>[6-7]</sup>。被动法直接对电压和频率测量进而判断是否越限来检测孤岛。被动法实现简单,不会对系统电能质量造成影响。但逆变器输出功率和负载功率相匹配时,被动法存在很大的检测盲区<sup>[8]</sup>。主动法通过向系统内添加扰动,使得电网参数快速偏离阈值。主动法缩小了孤岛检测盲区,加快了检测速度。但主动法添加了扰动信号,影响的逆变输出的电能质量<sup>[9]</sup>。

针对主动法和被动法的不足,文献[10]提出一种改进的滑膜频率偏移法 IM-SMS,该方法针对孤岛发生后逆变输出频率变化不大时,SMS法的主动扰动角接近于0,从而产生检测盲区的情形,添加一个正反馈相位扰动,使得在这种情形下仍然存在一定相位扰动角。这种方法减小了SMS法的检测盲区,但并没有改变主动法会对电能质量产生影响的缺点,甚至增大了逆变输出电压的总谐波含量。文献[11]提出一种利用频率变化率来判断孤岛是否发生的被动孤岛检测法,这种方法较判断频率是否越限的被动法检测效率更高,检测速度更快,但当逆变输出功率和负载功率匹配情况下,断网后逆变输出频率变化率很小,相对于主动法检测速度更慢。可见针对被动法和主动法的改进没有改变主动法对电能质量影响大和被动法检测盲区大的缺点,基于此,本文提出一种基于滑膜频率偏移法和过/欠频被动法相结合的孤岛检测方法。实验证明,这种混合法相较于单独使用滑膜频率偏移法,对电能质量影响更小,相较于单独使用被动法,检测盲区更小,检测速度更快。

## 2 过/欠频被动法盲区分析

过/欠频被动法是根据逆变输出电压的频率是否在阈值内来判断孤岛的产生。在光伏逆变系统的电流控制模式下,利用锁相环使得逆变输出电流的相位和频率跟踪逆变输出电压,在这种情形下,逆变输出无功电流分量为零,逆变输出无功功率为0<sup>[12]</sup>。所以可以得到在断网前逆变输出无功功率 $Q_{load}$ 和有功功率 $P_{load}$ :

$$P_{load} = \frac{v^2}{R} = P + \Delta P \quad (1)$$

$$Q_{load} = \Delta Q = V^2 = \left(\frac{1}{2\pi fL} - 2\pi fC\right) \quad (2)$$

式中: $V$ 为逆变输出电压, $R$ 、 $L$ 、 $C$ 分别为RLC负载的电阻、电感、电容值, $f=50$  Hz为参考频率。

在断网后,在电流控制模式下,无功功率为0,为了维持单位功率因素,逆变输出电压的频率将会跟踪RLC负载的谐振频率 $f'$ 。

$$f' = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (3)$$

将式(2)除以式(1)可得:

$$\frac{\Delta Q}{P_{load}} = \left(\frac{1}{2\pi fL} - 2\pi fC\right)R = R \sqrt{\frac{C}{L}} \left(\frac{1}{2\pi f \sqrt{LC}} - 2\pi f \sqrt{LC}\right) \quad (4)$$

将式(3)代入式(4)可得:

$$\frac{\Delta Q}{P_{load}} = \frac{\Delta Q}{P} \left(1 + \frac{\Delta P}{P}\right)^{-1} = Q_f \left(\frac{f'}{f} - \frac{f}{f'}\right) \quad (5)$$

式中: $Q_f$ 为负载品质因素。

$$Q_f = R \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

当断网的频率维持在阈值内,过/欠频孤岛检测法将会失效。所以在电流控制模式下的过/欠频孤岛检测法的检测盲区为:

$$Q_f \left(\frac{f_{min}}{f} - \frac{f}{f_{min}}\right) \leq \frac{\Delta Q}{P} \left(1 + \frac{\Delta P}{P}\right)^{-1} \leq Q_f \left(\frac{f_{max}}{f} - \frac{f}{f_{max}}\right) \quad (7)$$

式中: $f_{min}$ 和 $f_{max}$ 为实现设定的频率的最小值和最大值即孤岛检测的频率阈值。根据IEEE STD 1547标准,可知:

$$\begin{cases} f_{min} = 49.5 \text{ Hz} \\ f_{max} = 50.5 \text{ Hz} \end{cases} \quad (8)$$

将式(8)代入式(7)可得:

$$-0.020 \times Q_f \leq \frac{\Delta Q}{P} \left(1 + \frac{\Delta P}{P}\right)^{-1} \leq 0.020 \times Q_f \quad (9)$$

由此可得到过/欠频被动孤岛检测法的盲区分布图,如图1所示。

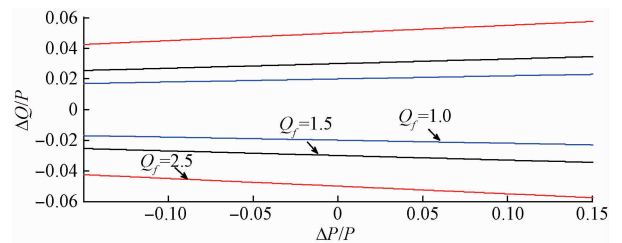


图1 电流控制模式下过/欠频被动法盲区分布

Fig. 1 NDZ of the OFP/UFP under current controlled mode

## 3 滑膜频率偏移法对电能质量的影响

在滑膜频率偏移法中,给定电流<sup>[13]</sup>为:

$$I = I_m \sin(2\pi ft + \theta_{SMS}) \quad (10)$$

式中: $I_m$ 为参考电流峰值, $f$ 为上一个采样时刻电压频率值, $t$ 为采样计数值, $\theta_{SMS}$ 为电流相位偏移角。

$$\theta_{SMS} = \theta_m \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f - f_g}{f_m - f_g}\right) \quad (11)$$

式中: $\theta_m$ 为最大频率相移, $f_m$ 为产生最大相移时对应的频率, $f_g$ 为电网频率, $f$ 为公共点频率。一般取 $|f_m - f_g| =$

3 Hz。在电网正常时,由于电网的钳制,公共点频率不会发生变化,由式(1)可知,  $\theta_{SMS}$  趋近于 0,所以在电网正常工作时, SMS 法对电网的 THD 不会产生影响。当电网断开后,公共点电压频率失去电网的钳制作用,由式(11)可知,随着频率不断偏移,  $\theta_{SMS}$  越来越大,逆变输出电流 THD 也越来越大。图 2(a) 所示为  $f - f_g = 0.5 \text{ Hz}$ ,  $\theta_m = 11^\circ$  时的参考电流输出波形图,对其进行快速傅里叶变换分析,得到图 2(b) 所示的谐波分布图。表 1 列出了不同的  $f - f_g$  和不同的  $\theta_m$  条件下参考电流的谐波分布。

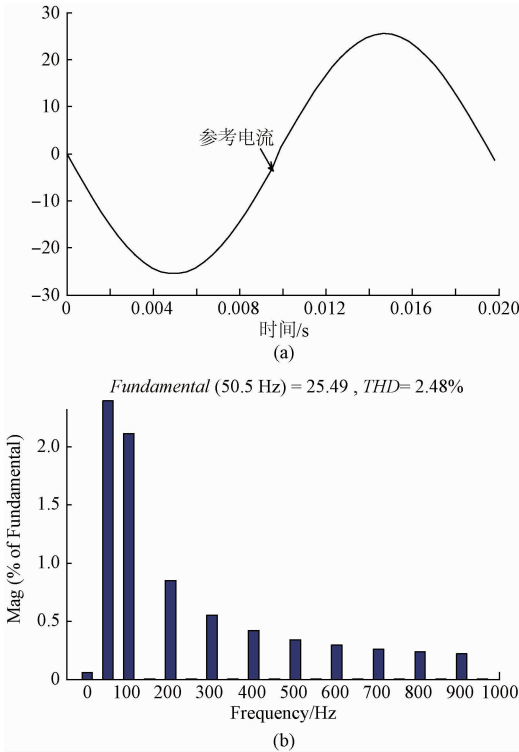


图 2 SMS 逆变输出电流波形和谐波分布  
Fig. 2 Inverter output current waveform and harmonic distribution of SMS

表 1 不同参数条件下 SMS 法的 THD

**Table 1 THD of SMS under different parameter conditions**

$f - f_g$	$6\sin(0.5\pi \times \Delta f/3)$	$11\sin(0.5\pi \times \Delta f/3)$	$16\sin(0.5\pi \times \Delta f/3)$
0.2	0.55%	1.00%	1.46%
0.3	0.82%	1.49%	2.17%
0.4	1.08%	1.98%	2.89%
0.5	1.35%	2.48%	3.62%

### 4 滑膜频率偏移法和过/欠频被动法结合算法

由图 1 可知,当逆变输出功率和负载消耗功率匹配

度高的时候,被动法存在很大的检测盲区,并且随着负载品质因素提高,其检测盲区增大。由图 2 可知滑膜频率偏移法在断网后会对系统电能质量造成影响,而且随着频率偏移越来越大,其对电能质量造成的影响越大。基于此,本文提出一种滑膜频率偏移法和过/欠频被动法结合的孤岛检测法。其具体实施过程如图 3 所示。由于在具体实施过程中,现有技术还不能对负载品质因素实时计算<sup>[14]</sup>,本文一律采取孤岛检测规定的负载品质因素最恶劣的情形<sup>[15-16]</sup>,即  $Q_f = 2.5$ 。设置采样时间间隔为  $1 \times 10^{-4}$ ,则采样 500 次的时间间隔为 0.05 s。

如图 3 所示,分别采样逆变输出电压  $U_{inv}$  和逆变输出电流  $I_{inv}$ 。由于采用电流控制方法,电流相位和频率跟踪电压频率和相位,所以计算得到逆变输出有功功率为  $P_{inv}$ ,无功功率为 0,采样负载两端电压  $U_{load}$  和电流  $I_{load}$ ,计算出负载消耗有功功率  $P_{load}$  和负载消耗无功功率  $Q_{load}$ ,则计算出:  $\Delta P = P_{load} - P_{inv}$ ,  $\Delta Q = Q_{load}$ ,判断

$$0.02 \times 2.5 \leq (\Delta Q/P_{inv}) / (1 + \Delta P/P_{inv}) \leq 0.02 \times Q_f \quad (12)$$

当式(12)成立时由图一可知,这种情形处于过/欠频被动检测法的盲区范围。但是为了防止系统正常工作时,电网输出功率突然跳变而引发孤岛检测误动作,本文设置当  $0.02 \times 2.5 < (\Delta Q/P_{inv}) / (1 + \Delta P/P_{inv}) < 0.02 \times Q_f$  这个条件连续成立 0.5 s 时,即  $i$  值累加到 500 时才切换滑膜频率偏移法检测法。当式(12)不成立时切换过/欠频被动法。当负载突然变化时,  $i$  清零,重新累加,根据累加结果切换不同算法。

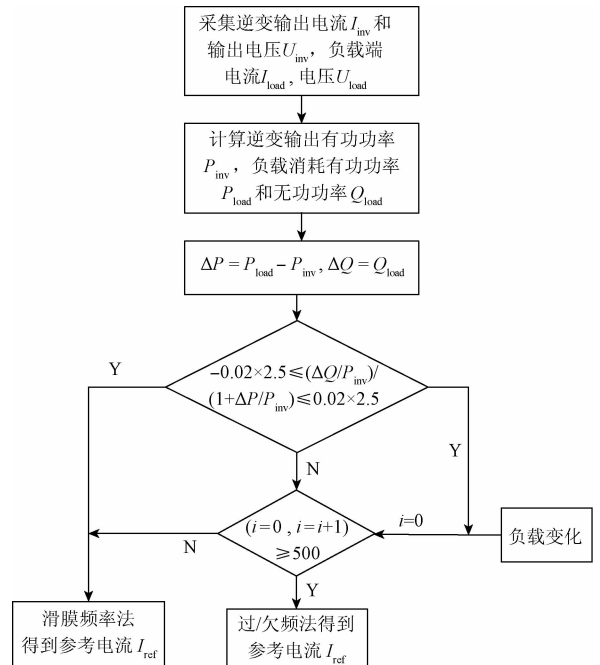


图 3 滑膜频率频率偏移法和过欠频被动法结合算法  
Fig. 3 The algorithm of the combination of SMS and OFP/UFP

由以上可知,这种基于滑膜频率偏移法和过/欠频被动法结合的混合孤岛检测法减少了单独使用过/欠频法的检测盲区,并且在被动法盲区之外没有影响系统的电能质量。而在盲区内引进滑膜频率偏移法虽然造成了电能质量的影响,但小于未检测出孤岛对系统造成的影响;相较于单独使用滑膜频率偏移法,在过/欠频被动法的盲区方位之外,采用过/欠频被动法,使得在这个范围内孤岛检测造成系统的总谐波含量为零,大大提高了滑膜频率偏移法的检测性能。并且这种孤岛检测法设置了算法切换延迟时间 0.5 s,防止了电网跳变造成的算法切换的误动作。当负载变化时  $i$  清零重新累积,使得这种算法能够实时跟踪负载的变化,提高了这种算法的有效性。

### 5 仿真与实验结果分析

根据上述混合法的原理,本文采用 MATLAB/simulink 对这种方法进行仿真。直流电压源设置为 400 V。滤波电感设置为 6 mH,利用 Simulink 模块库中固有锁相环 PLL 获得电网相位和频率信号,经过 S-function 模块输出参考电流  $i_{ref}$ ,  $i_{ref}$  与逆变输出的电压经过 PI 调节(取  $k_p = 80$ ,  $k_i = 200$ ),使得逆变输出电流跟踪参考电流。将逆变输出电压作为调制波,以 40 kHz 的三角波作为载波,比较后输出 PWM 波控制 IGBT 开关管的开通和关断。该模型由直流电源,逆变器,负载和电网构成。其中,用断路器和阶跃信号来控制电网的通断和负载的加入。设置两种情景来验证理论分析的结果,其中

$$\theta_{SMS} = 11^\circ \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f - f_g}{f_m - f_g}\right)$$

1) 情景 1,设置在过/欠频被动法盲区外的情形,如图 4 所示。2) 情景 2,设置在 0.6 s 前在过/欠频被动法盲区外,在 0.6 s 时,增加负载,使得 0.6 s 后在过/欠频被动法盲区内的情形,如图 5 所示。

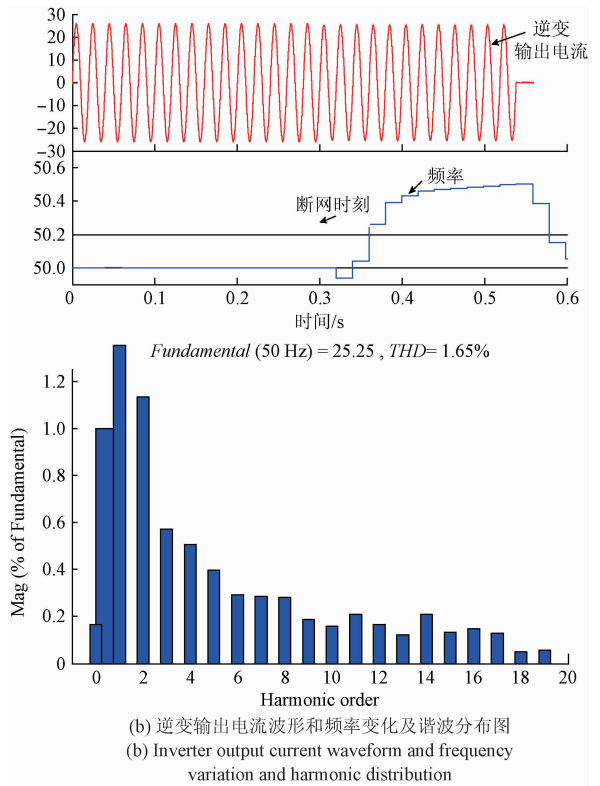
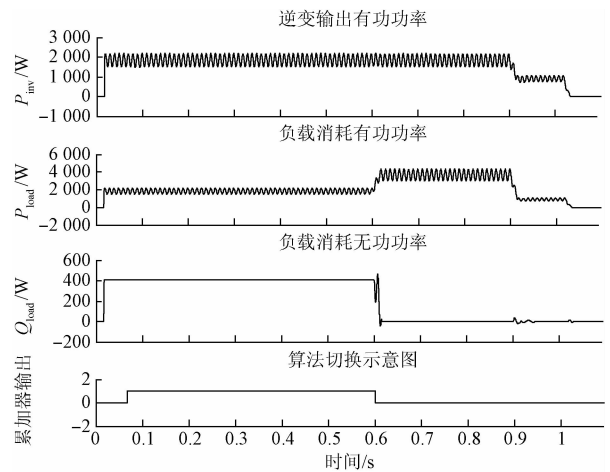
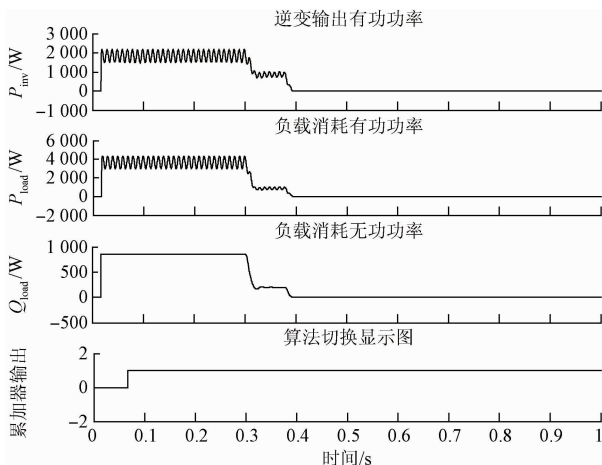


图4 情景 1  
Fig. 4 Scene 1

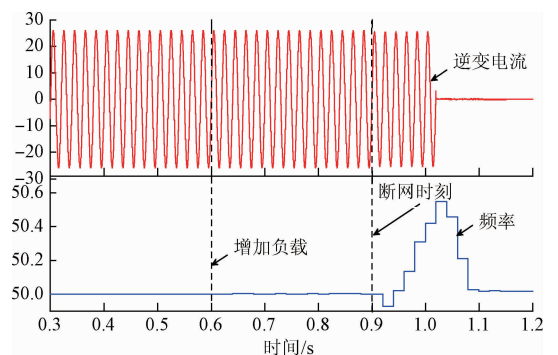


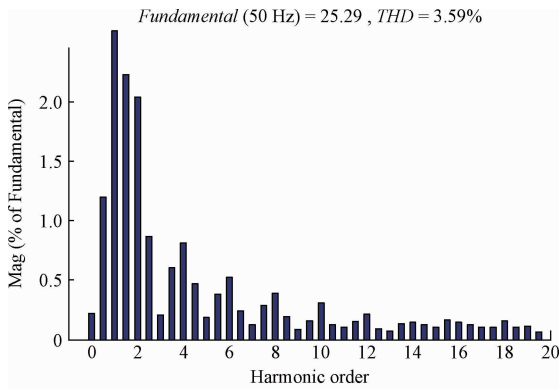
(a) 功率变化及算法切换示意图  
(a) Schematic diagram of power change and algorithm switching



(a) 功率变化及算法切换示意图

(a) Schematic diagram of power change and algorithm switching





(b) 逆变输出电流波形和频率变化及谐波分布图  
 (b) Inverter output current waveform and frequency variation and harmonic distribution

图 5 情景 2  
 Fig. 5 Scene 2

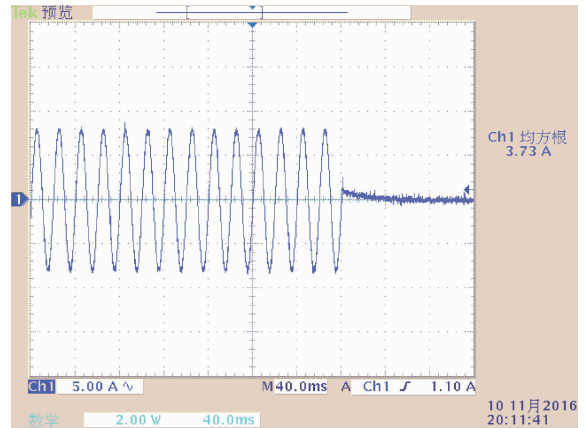


图 7 从并网到孤岛状态的逆变输出电流波形  
 Fig. 7 The inverter output current waveform from grid connected to isolated

在情景 1 中, 由图 4(a) 所示,  $(\Delta Q/P_{inv})/(1 + \Delta P/P_{inv}) = 0.18$ , 不在过/欠频被动法的盲区方位内, 所以此时在算法切换图中显示输出为 1, 表明  $i$  连续累积到 500, 由图 4(b) 所示, 在 0.3 s 断网, 断网后采用的是过/欠频被动法, 在 0.54 s 检测出孤岛, 断开逆变输出, 对断网后的逆变波形进行 FFT 分析, 如图 4(b) 所示, 总谐波含量为 1.65%。在情景 2 中, 在 0.6 s 前  $(\Delta Q/P_{inv})/(1 + \Delta P/P_{inv})$  的值在过/欠频的范围之外, 此时算法切换图显示输出为 1, 采用过/欠频被动法, 在 0.6 s 时, 增加负载, 系统实时跟踪到这一变化, 将  $i$  清为 0。由图 5(a) 可知计算得到此时  $(\Delta Q/P_{inv})/(1 + \Delta P/P_{inv})$  在过/欠频的范围之内, 此时算法切换图一直为 0, 切换滑膜频率偏移法来得到参考电流  $i_{ref}$ 。在 0.9 s 时断开电网, 在 1.02 s 时检测出孤岛, 断开逆变输出。如图 5(b) 所示, 断开电网, 采用滑膜频率偏移法的逆变输出电流的总谐波含量为 3.59%。根据仿真模型设计的实验平台如图 6 所示。为了验证本文所述孤岛检测方法的检测性能, 搭建了基于 DSP28335 的光伏模拟系统 (IPM 模块在主板背面)。写入孤岛检测算法后逆变输出的电流波形如图 7 所示, 该算法成功检测出了孤岛, 验证了该算法的可行性。

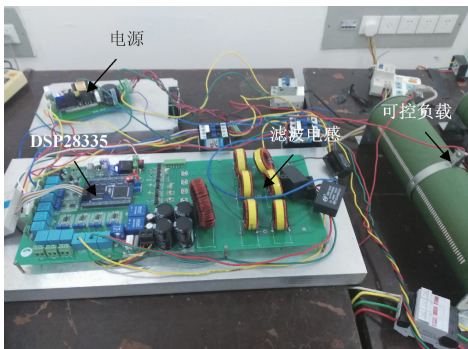


图 6 孤岛检测算法验证平台

Fig. 6 Verification platform of islanding detection algorithm

综上所述, 这种基于滑膜频率偏移法和过/欠频被动法结合的混合法能够在过/欠频被动法的盲区外使用过/欠频法, 在盲区内切换滑膜频率偏移法并且检测出孤岛, 证明了这种算法的可行性。在过/欠频被动法的盲区外使用滑膜频率偏移法减小了检测盲区。由图 4 可知采用过/欠频被动法的逆变电流  $THD = 1.65$ , 由图 5 可知采用滑膜频率偏移法的逆变电流  $THD = 3.65\%$  (比在图 2 中分析的  $THD$  大的原因在于电网中滤波电感、电容谐振或者开关频率造成的谐波)。可见在盲区外采用被动法能减小对电能质量的影响。证明了这种算法的优越性。设置延迟算法切换时间则避免了系统中的突变因素带来开关的误动作。在负载变化的情况下, 能够实时切换算法, 证明了这种算法的实时性。

## 6 结论

本文根据之前针对过/欠频被动法和滑膜频率偏移法的改进研究没有改变滑膜频率偏移法对电能质量影响大和过/欠频被动法检测盲区大的缺点提出一种基于滑膜频率偏移法和过/欠频被动法相结合的混合孤岛检测方法。理论分析表明, 这种混合法减小了单独使用被动法的检测盲区, 减小了单独使用滑膜频率偏移法对电能质量的影响。并且这种算法能够避免系统突变造成开关的误动作, 实时跟踪负载的变化切换不同的孤岛检测方法。分别设置两种情形进行理论分析验证, 最后仿真结果印证了理论分析的结果。

本文在过/欠频被动法的盲区范围内采用滑膜频率偏移法, 但是两种孤岛检测方法的盲区存在重叠, 这种混合法并没有完全消除盲区, 在盲区重叠部分切换另一种检测方法是下一步研究方向。另外, 根据在现有条件下无法实时检测出负载品质因素的情况, 设置负载品质因

素固定为2.5,还存在一定缺陷性,因此,研究实时测量负载品质因素并实时切换算法是下一步的研究重点。

## 参考文献

- [1] KHAMIS A, SHAREEF H, BIEKEVELEI E, et al. A review of islanding detection techniques for renewable distributed generation systems [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 28(8): 483-493.
- [2] 侯立健,朱长青,陈雅,等. 并网发电系统中孤岛检测方法的综述[J]. *国外电子测量技术*, 2015, 34(8): 34-39.
- HOU L J, ZHU CH Q, CHEN Y, et al. Review of islanding detection methods for generation grid-connected system[J]. *Foreign Electronic Measurement Technology*, 2015, 34(8): 34-39.
- [3] 谢东,张兴,曹仁贤. 基于小波变换与神经网络的孤岛检测技术[J]. *中国电机工程学报*, 2014, 34(4): 537-544.
- XIE D, ZHANG X, CAO R X. Islanding detection based on wavelet transform and neural network. [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2014, 34(4): 537-544.
- [4] 侯立健,朱长青,安巧静,等. Sandia 频移法在电子负载孤岛检测中的应用研究及参数优化[J]. *电子测量技术*, 2016, 39(4): 13-17.
- HOU L J, ZHU CH Q, AN Q J, et al. Research and parameter optimization on Sandia frequency shift method in the islanding detection of electronic load. [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2016, 39(4): 13-17.
- [5] 吴顺风,江明,杨晨悦,等. 分布式电源并网后的自适应负载反孤岛方法[J]. *电子测量与仪器学报*, 2016, 30(1): 52-57.
- WU SH F, JIANG M, YANG CH Y, et al. Adaptive load anti-islanding method of grid-connected distributed power system [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2016, 30(1): 52-57.
- [6] AHMAD K N E K, SELVARAJ J, RAHIM N A. A review of the islanding detection methods in grid-connected PV inverters[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 21(5): 756-766.
- [7] MARCHESAN G, MURARO M, CARDOSO J G, et al. Passive method for distributed generation island detection based on oscillation frequency[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery* 2016, 31(1): 138-145.
- [8] ALARM M R, MUTTAQI K M, BOUZERDOUM A. A multifeature-based approach for islanding detection of DG in the subcritical region of vector surge relays[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2014, 29(5): 2349-2358.
- [9] 蔡逢煌,林琼斌,王武. 带有谐波补偿功能的主动移频式孤岛检测法[J]. *电力自动化设备*, 2014, 34(9): 54-58.

- CAI F H, LIN Q B, WANG W. Island detection by active frequency drift method with harmonic compensation. [J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2014, 34(9): 54-58.
- [10] LIU F, KANG Y, ZHANG Y, et al. Improved SMS islanding detection method for grid-connected converters[J]. *Renewable Power Generation, IET*, 2010, 4(1): 36-42.
- [11] GUHA B, HADDAD R J, KALAANI Y. A passive islanding detection approach for inverter-based distributed generation using rate of change of frequency analysis[C]. *IEEE Southeast Conference*, 2015: 1-6.
- [12] BIFARETTI S, LIDOZZI A, SOLERO L, et al. Anti-islanding detector based on a robust PLL [J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2015, 51(1): 398-405.
- [13] 邹培源,黄纯. 基于模糊控制的改进滑模频率偏移孤岛检测方法[J]. *电网技术*, 2016, 40(11): 1-7.
- ZOU P Y, HUANG C. An improved slip mode frequency shift islanding detection method based on fuzzy control[J]. *Power System Technology*, 2016, 40(11): 1-7.
- [14] LIPSKY A, MITEVA N. Some problems of smart meter algorithms for electric power quality measurements[C]. *IEEE International Conference on Smart Measurements for Future Grids (SMFG)*, 2011: 10-15.
- [15] GUPTA P, BHATIA R S, JAIN D K. Average absolute frequency deviation value based active islanding detection technique[J]. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2015, 6(1): 26-35.
- [16] 吴盛军,徐青山,袁晓冬,等. 光伏防孤岛保护检测标准及试验影响因素分析[J]. *电网技术*, 2015, 39(4): 924-931.
- WU SH J, XU Q SH, YUAN X D, et al. Anti-islanding detection standards for distributed PV power generations and analysis on factors influencing non-detection zone of islanded PV generation [J]. *Power System Technology*, 2015, 39(4): 924-931.

## 作者简介



余运俊,1978年出生,2000年于南昌大学获得学士学位,2007年于南昌大学获得硕士学位,2013年于中国科学院获得博士学位,现为南昌大学副教授。主要研究领域为光伏智能微网控制、低碳电力。  
E-mail: yuyunjun@ncu.edu.cn

**Yu Yunjun** was born in 1978. He received B. Sc. from Nanchang University in 2000, M. Sc. from Nanchang University in 2007 and Ph. D. from Chinese Academy of Sciences in 2013, respectively. Now he is associate professor in Nanchang University. His main research areas are photovoltaic micro-grid intelligent control, and low carbon power.