

CGC

北京鉴衡认证中心认证技术规范

CGC/GF004TM.1:2012

并网光伏发电专用逆变器试验方法 第1部分：电性能

北京鉴衡认证中心 发布

目 次

目 次	I
前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 实验环境及设备要求	1
4 结构外观等检查	2
5 效率	3
6 谐波测试	8
7 功率因数	9
8 直流分量	9
9 电压不平衡度	10
10 噪声	10
11 自动开关机	11
12 软启动	11
13 通讯接口	11
14 连续工作	12

北京鉴衡认证中心测试方法

前 言

为保证CGC/GF004-2011《并网光伏发电专用逆变器技术条件》(国家认监委备案号：CNCA/CTS0004-2009A)的有效实施，规范光伏并网逆变器电性能及保护、环境、电磁兼容试验等项目的试验方法，特制定了CGC/GF004TM.1~5:2012《并网光伏发电专用逆变器试验方法》系列认证技术规范指导性文件。本规范共分5部分：

- 第1部分：11项电性能检测；
- 第2部分：11项保护功能检测；
- 第3部分：5项安全检测；
- 第4部分：4项环境检测；
- 第5部分：10项电磁兼容。

本部分为试验方法的第1部分。

本部分由北京鉴衡认证中心归口。

本部分主要起草单位：北京鉴衡认证中心、国家继电保护及自动化设备质量监督检验中心、中国电力科学研究院、华北电力科学研究院、北京金阳东方科技有限公司。

本部分主要起草人：王婷、闫华光、范士林、李涛永、张红超、石承刚、薛金会、王宗、万琳、朱月清、崔正湃、管承华。

并网光伏发电专用逆变器试验方法

第 1 部分：电性能

1 范围

本规范适用于并网光伏发电专用逆变器设备及相关产品。

本部分为电性能测试指导性实施细则，含测试环境、测试设备、测试平台、测试线路、测试步骤、结果评判等。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 12325-2008 电能质量 供电电压偏差
- GB/T 12326-2008 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15543-2008 电能质量 三相电压允许不平衡
- GB/T 15945-2008 电能质量 电力系统频率偏差
- GB/T 19939-2005 光伏系统并网技术要求
- IEC 62109-1-2010 光伏发电系统用电力转换设备的安全 第 1 部分 通用要求
- IEC 62109-2-2011 光伏发电系统用电力转换设备的安全 第 2 部分 对逆变器的特殊要求
- EN 50530-2010 并网光伏逆变器的全逆变效率

3 实验环境及设备要求

3.1 实验环境要求

除另有规定外，试验在以下条件下进行：

- 环境温度：15℃~35℃
- 相对湿度：45%~75%
- 大气压力：86kPa~106kPa

3.2 电网条件

无特殊规定的下述电网条件下，逆变器应能正常工作：

- 1) 公用电网谐波电压应不超过GB/T 14549中第4章规定的限值，电压总谐波畸变率 $\leq 5\%$ ，奇次谐波电压含有率 $\leq 4\%$ ，偶次谐波电压含有率 $\leq 2\%$ ；

- 2) 三相电压不平衡度应不超过GB/T 15543规定的数值，允许值为2%，短时不得超过4%。
- 3) 交流输出端口20kV及以下三相电压的允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ ，220V单相电压的允许偏差为额定电压的+7%、-10%；其他情况电网电压允许偏差应符合GB/T 12325的规定。
- 4) 公用电网的频率不超过GB/T 15945中第4章中规定的限值，频率偏差不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

不满足上述条件的，需要用户与制造商协商。

3.3 模拟电源的要求

- 1) 模拟电网应符合上述3.2规定；
- 2) 被测逆变器的直流源宜为光伏方阵或光伏方阵模拟器；直流源的输出电压应与被测逆变器直流输入电压的工作范围相匹配，试验期间输出电压波动应不超过 $\pm 5\%$ ；
- 3) 如果被测逆变器有指定的直流源，但该直流源不能满足试验功率要求，应在直流源能够提供的范围内进行测试。

4 结构外观等检查

4.1 要求

逆变器的结构和机柜本身的制造质量、主电路连接、二次线及电气元件安装应符合下列要求：

- 1) 机架组装有关零部件均应符合各自的技术要求；
- 2) 油漆电镀应牢固、平整，无剥落、锈蚀及裂痕等现象；
- 3) 机架面板应平整，文字和符号要求清楚、整齐、规范、正确；
- 4) 标牌、标志、标记应完整清晰；
- 5) 各种开关应便于操作，灵活可靠；
- 6) 机柜内应该有适当的保护措施以防止对操作人员直接接触电极部分，包括交直流接线端子各种电气元件的电极。

4.2 测试设备

试验指等。

4.3 试验方法

对柜体的检查主要为目测，查看布局是否合理，是否有触电等危险。对带有危险电压及危险能量的带电体是否有防护，或警告标志等（如：储能电容需加置，断电多长时间后才可接触）；

铭牌标识是否符合标准要求等。

5 效率

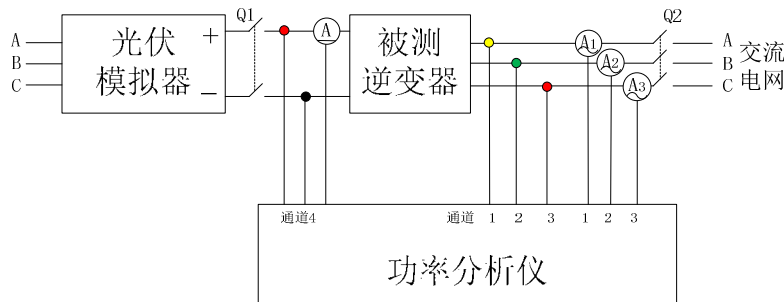


图 1 性能指标测试线路图

5.1 要求

无变压器型逆变器最大效率不得低于 96%，含变压器型逆变器最大效率不得低于 94%。

对于逆变器，其能量转换的总效率包括转换效率和 MPPT 效率。MPPT 效率包括静态 MPPT 效率和动态 MPPT 效率。静态 MPPT 效率和动态 MPPT 效率的具体限值在将来会逐渐的考虑进来。

注 1：MPPT 效率（包括静态和动态的）直接影响对光伏系统的所发出电能的有效利用，推荐进行科学的测试以确定实际的跟踪效率。

5.2 测试设备

光伏模拟器、功率分析仪（电能质量分析仪）。

5.3 试验方法

按照图 1 进行接线，功率分析仪接在逆变器直流输入端及交流输出端，测试直流输入功率及交流输出功率值。

5.3.1 转换效率

5.3.1.1 最大转换效率

根据逆变器的设计，测量得到最大的转换效率，其值符合上述要求。

$$\eta_{conv} = \frac{\int_0^{T_M} P_{AC}(t) \cdot dt}{\int_0^{T_M} P_{DC}(t) \cdot dt} \dots\dots\dots (1)$$

测试过程中，记录直流输入侧 P_{dc}、交流输出侧 P_{ac} 的瞬时功率值或是一段时间的功率积累值，按照上式计算出最大的转换效率。

注 1：测试过程中，应该考虑为保证逆变器正常运行所要消耗的电能。

注 2：测试过程中应该关闭 MPPT 功能。

5.3.1.2 逆变效率曲线

对逆变器的效率科学合理的评价不应是最大效率值，而应是不同负载情况下逆变效率的加权平均

值。但是，一方面由于没有足够的数据库，另一方面国内的各地辐照条件差异较大，能够广泛接受的权重值还没有形成，因此给出一个具有尽量多的负载点的逆变效率曲线是一个比较好的替代方法。

标准测试条件下，测量 5%、10%、15%、20%、25%、30%、50%、75%、100%负载点，以及逆变器最大转换效率点及逆变器的最大功率点的逆变效率，并以曲线图的形式在报告中体现，如图 2 所示。

逆变效率曲线测试，分别测量直流输入侧的功率值 P_{dc} ，交流输出端的功率值 P_{ac} ，通过公式(2) 计算得出。

$$\eta = \frac{P_{ac}}{P_{dc}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

注 1：应在高温条件下完成上述相同测试，测试结果同样体现在报告中。功率因数应同时测定。

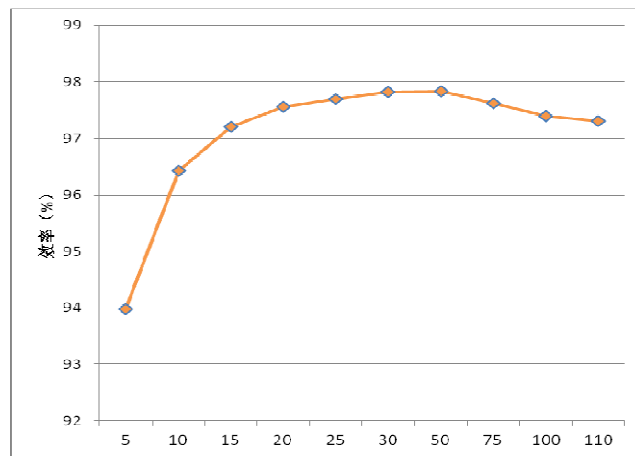


图 2 效率曲线

5.3.2 MPPT 效率

MPPT 效率反应了逆变器追踪光伏方阵最大功率点的能力，MPPT 效率分为静态效率和动态效率。两个 MPPT 效率的测试，都是通过对比逆变器输入端的瞬时电压值和电流值采样以及光伏模拟器中设置好的 IV 曲线最大功率点来决定的。

静态 MPPT 效率反应的是在给定静态 PV 组件的 IV 特性曲线上，逆变器调节跟踪最大功率点的精度。

动态 MPPT 效率反应的是在外界环境条件变化时逆变器动态跟踪光伏阵列最大功率点的精度。

5.3.2.1 静态 MPPT 效率

- 1) 测量应当在逆变器额定输出电压条件下进行；
- 2) 测试程序如表1所示：

表 1：静态 MPPT 效率实验

光伏模拟器模拟 I/U 特性的 MPPT 电压	模拟 I/U 特性的光伏电	模拟 I/U 特性曲线下的的 MPPT 功率占额定功率的比值							
		0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.50	0.75	1.00

	池类型								
UMPP max(0.8UDCmax)※1	c-Si								
UDC,r	c-Si								
UMPPmin	c-Si								
UMPP max(0.7UDCmax)※1	TF※2								
UDC,r	TF※2								
UMPPmin	TF※2								

注 1: UMPPmax 和 0.8UDCmax (0.8UDCmax) 中较低的电压值下进行, 规定的 MPPT 电压保证正确 MPPT 运行使其不受电压限值影响。

注 2: 不使用薄膜技术的此部分可省略。

- a) 依据上述规定的测试条件, 使用光伏模拟器模拟每个对应的 IV 特性曲线, 且在每一特性曲线下等待 MPPT 追踪稳定后进行测试;
- b) 在 MPPT 跟踪达到稳定之后, 记录下列参数 10min;
- c) 按照定义的公式 (3) 进行计算。

$$\eta_{MPPTstat} = \frac{1}{P_{MPP,PVS}} \cdot T_M \sum_i U_{DC,i} \cdot I_{DC,i} \cdot \Delta T \dots\dots\dots (3)$$

5.3.2.2 动态 MPPT 效率

辐照强度里的百分比表示的是以标准测试条件 (STC) 为参照的, 即 100% 与环境温度 25℃、辐照度 1000 W/m² 条件相对应。

1) 10%-50% PDCn 测试程序

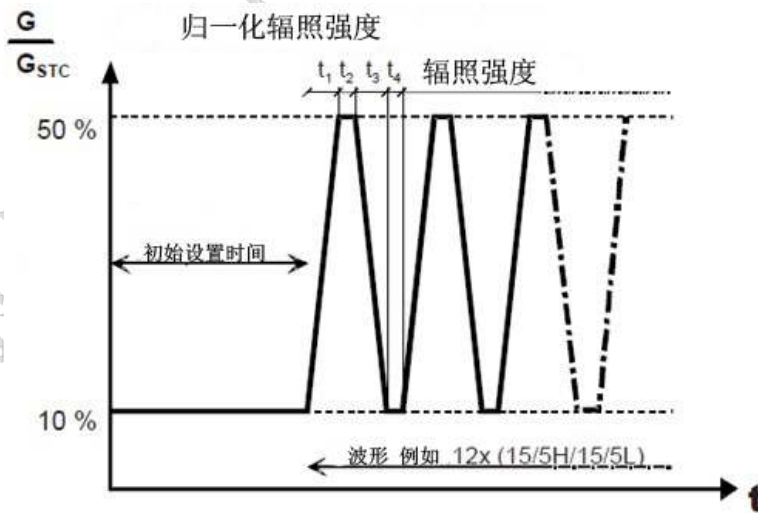


图 3: 低辐照强度和中等辐照强度之间变动时的测试程序

表 2: 10%→50%动态 MPPT 效率实验

辐照度区间 W/m ²	区间大小 W/m ²					间隔时间 s	
---------------------------	--------------------------	--	--	--	--	-----------	--

100-500	400					300	
循环次数	步长 W/m ² /s	上升时间 S	驻留时间 S	下降时间 S	驻留时间 S	间隔时间 S	
2	0,5	800	10	800	10	3	
2	1	400	10	400	10	1	
3	2	200	10	200	10	1	
4	3	133	10	133	10	1	
6	5	80	10	80	10	1	
8	7	57	10	57	10	1	
10	10	40	10	40	10	1	
10	14	29	10	29	10	1	
10	20	20	10	20	10	900	
10	30	13	10	13	10	767	
10	50	8	10	8	10	660	
					合计	15 939	s
						04:25:39	h

2) 30%-100% PDCn 测试程序

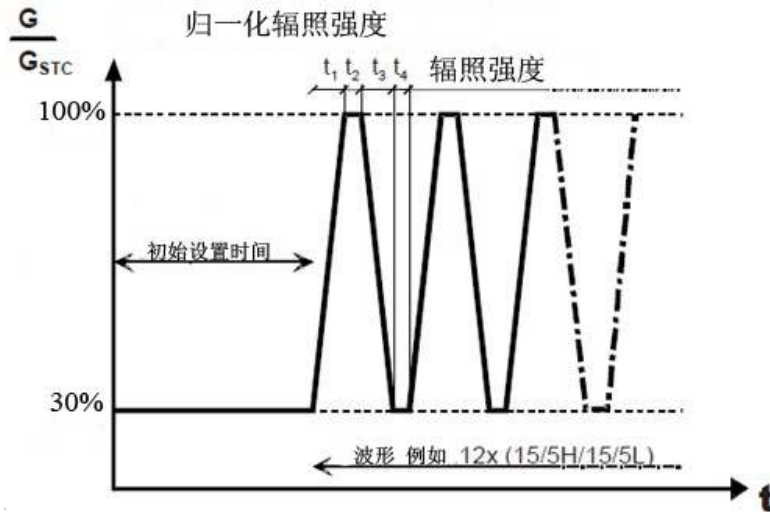


图 4：中等辐照强度和强辐照强度之间变动时的测试程序

表 3：30%→100%动态 MPPT 效率实验

辐照度区间 W/m ²	区间大小 W/m ²					间隔时间 S	
100-500	400					300	
循环次数	步长 W/m ² /s	上升时间 S	驻留时间 S	下降时间 S	驻留时间 S	间隔时间 S	
10	10	70	10	70	10	1 900	
10	14	50	10	50	10	1 500	
10	20	35	10	35	10	1 200	
10	30	23	10	23	10	967	

10	50	14	10	14	10	780	
10	100	7	10	7	10	640	
					合计	6 987	s
						01:56:27	h

3) 总体动态 MPPT 效率是按照上述表 2 和表 3 中的单次动态 MPPT 效率测量值计算所得的平均值。

$$\eta_{MPPT,dyn,t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \cdot \eta_{MPPT,dyn,i} \dots\dots\dots (4)$$

- $\eta_{MPPT, dyn, t}$ 平均动态 MPPT 效率
- $\eta_{MPPT, dyn, i}$ 每一测试的动态 MPPT 效率
- N 测试的次数
- A_i 权重参数（一般取权重参数 $a_i=1$ ）

5.3.3 欧洲 MPPT 效率及加州 MPPT 效率计算方法：（仅供参考）

5.3.3.1 欧洲效率

按照要求测得每一负载点下的转换效率，按照公式（5）进行计算：

$$\eta_{MPPTstat, EUR} = a_{EU_1} \cdot \eta_{MPP_1} + a_{EU_2} \cdot \eta_{MPP_2} + a_{EU_3} \cdot \eta_{MPP_3} + a_{EU_4} \cdot \eta_{MPP_4} + a_{EU_5} \cdot \eta_{MPP_5} + a_{EU_6} \cdot \eta_{MPP_6} \dots\dots\dots (5)$$

- a_{EU-I} 权重因数
- η_{MPPT-I} 在给定的 MPPT 功率下静态 MPPT 效率

Weighting Factor	a_{EU_1}	a_{EU_2}	a_{EU_3}	a_{EU_4}	a_{EU_5}	a_{EU_6}
	0.03	0.06	0.13	0.1	0.48	0.2
Partial MPP power $P_{MPP,PVS}/P_{DC,r}$	MPP_1	MPP_2	MPP_3	MPP_4	MPP_5	MPP_6
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1

5.3.3.2 加州 MPPT 效率

$$\eta_{MPPTstat, CEC} = a_{CEC_1} \cdot \eta_{MPP_1} + a_{CEC_2} \cdot \eta_{MPP_2} + a_{CEC_3} \cdot \eta_{MPP_3} + a_{CEC_4} \cdot \eta_{MPP_4} + a_{CEC_5} \cdot \eta_{MPP_5} + a_{CEC_6} \cdot \eta_{MPP_6} \dots\dots\dots (6)$$

- a_{EU-I} 权重因数
- η_{MPPT-I} 给定功率下的静态 MPPT 效率

Weighting Factor	a _{CEC_1}	a _{CEC_2}	a _{CEC_3}	a _{CEC_4}	a _{CEC_5}	a _{CEC_6}
	0.04	0.05	0.12	0.21	0.53	0.05
Partial MPP power P _{MPP,PVS} /P _{DC,r}	MPP_1	MPP_2	MPP_3	MPP_4	MPP_5	MPP_6
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1

6 谐波测试

6.1 要求

逆变器额定功率运行时，注入电流谐波总畸变率限值为 5%，奇次谐波电流含有率限值见表 4，偶次谐波电流含有率限值见表 5。

表 4 奇次谐波电流含有率限值

奇次谐波次数	含有率限值 (%)
3rd-9th	4.0
11th-15th	2.0
17th-21st	1.5
23rd-33rd	0.6
35th 以上	0.3

表 5 偶次谐波电流含有率限值

偶次谐波次数	含有率限值 (%)
2nd-10th	1.0
12th-16th	0.5
18th-22nd	0.375
24th-34th	0.15
36th 以上	0.075

其他负载情况下运行时，逆变器注入电网的各次谐波电流值不得超过额定功率运行时可接受的各次谐波电流值。

注：由于电压畸变可能会导致更严重的电流畸变，使得谐波测试存在的问题。注入谐波电流不应包括任何由未连接光伏系统的电网上的谐波电压畸变引起的谐波电流。满足上述要求的型式试验逆变器可视为符合条件，不需要进一步的检验。

6.2 测试设备

功率分析仪（电能质量分析仪）。

6.3 试验方法

- 1) 按照图1搭建试验台架，启动逆变器，使其在额定功率条件下（100%）运行，用功率分析仪（电能质量分析仪）测量并记录并网点各相的电流谐波总畸变率以及各次谐波电流含有率；
- 2) 记录下的各次电流谐波值及含量均不应超出对应表1、表2的限值；
- 3) 调整直流源或逆变器的控制输出功率，分别测量逆变器的输出功率在30%、50%、70%条件下的各次电流谐波值，其值不得超过额定功率运行时允许注入到电网的各次谐波电流值；
- 4) 谐波测试时间为150s，取其平均值。

注 1：如果此部分测试采用模拟电网，那么对模拟电网的空载电压谐波的要求是不应超过 2.5%，电源阻抗不得超过 5%逆变器的阻抗值。

注 2：如果使用实际电网，那么应选择用电用户较少电网自身电能质量较好的时间段进行测试，以减少电网对此测试的影响。

注 3：电网谐波电压不得超过 GB/T 14549 中第四章规定，电压总谐波畸变率不得超过 5%，奇次谐波总畸变率不得超过 4%，偶次谐波总畸变率不得超过 2%。

7 功率因数

7.1 要求

逆变器输出有功功率大于额定功率的 50%时，功率因数不小于 0.98（超前或滞后），输出功率在 20%~50%时，功率因数不小于 0.95（超前或滞后），功率因数计算如公式（7）：

$$PF = \frac{P_{out}}{\sqrt{P_{out}^2 + Q_{out}^2}} \dots\dots\dots (7)$$

7.2 测试设备

功率分析仪（电能质量分析仪）。

7.3 试验方法

- 1) 按照图1搭建试验线路，逆变器输出额定功率100%时，观察功率分析仪（电能质量分析仪）中功率因数表示值，并记录一段时间（150s平均值）的逆变器输出的有功电量和无功电量；
- 2) 采用上述功率因数计算公式进行计算，得出功率因数；
- 3) 逆变器输出为额定功率的50%时，重复上述测试。

8 直流分量

8.1 要求

光伏系统并网运行时向电网馈送的直流电流分量不应超过其额定值的 0.5%或 5mA，取二者中较大值。

8.2 测试设备

功率分析仪（电能质量分析仪）。

8.3 试验方法

测试电路如图 1 所示，逆变器并网运行，使用功率分析仪（电能质量分析仪）测量交流输出中的直流成份并记录，测量 5 次取其平均值作为最后的测量结果，其值不应大于（0.5%额定电流或 5mA）中的较大值。

9 电压不平衡度

9.1 要求

逆变器并网运行时，接入的电网公共连接点的三相电压不平衡不超过 GB/T 15543 规定的限值，负序电压不平衡应不超过 2%，短时不超过 4%；逆变器在并网运行时引起电网公共接点的负序电压不平衡一般不超过 1.3%，短时不超过 2.6%。

9.2 测试设备

功率分析仪（电能质量分析仪）。

9.3 试验方法

按照图 1 搭建试验平台，将功率分析仪（电能质量分析仪）接入到并网点，选择进入到电能质量电压不平衡度测试界面，测量记录下其电压不平衡度，与标准要求值进行比较，其值不应超出标准要求。

10 噪声

10.1 要求

逆变器在最严酷工况下，在距离设备 1m 处用声级计测量噪声；声级大于 80dB 的逆变器，应与逆变器明显位置加贴“听力损害”的警示标识，且在说明书中给出减少听力损害的指导。

10.2 测试设备

声级计。

10.3 试验方法

- 1) 逆变器不工作，测试环境中的背景噪声；
- 2) 逆变器在最严酷工况下，噪声最强的方向，在距离设备 1m 处用声级计测量噪声，声级计采用 A 计权方式；当测量噪声与背景噪声的差值在 3dB—10dB 之间时，按照下表进行噪声值的修正：

表 6：背景噪声测量结果修正表

差值 (dB)	3	4~5	6~10
修正值 (dB)	-3	-2	-1

- 3) 举例：

- a) 测得背景噪声为 56dB；
- b) 实测到设备在最严酷工作条件下的噪声为 59dB，因其差值 ≤ 3 dB，所以按照表 6 进行修正，实际设备的噪声为 56dB；

- c) 实测设备噪声为 60dB，差值为 4dB 在 4~5 的范围内，所以按照上表修正后设备的实际噪声为 58dB；
- d) 实测设备噪声为 64dB，差值为 8dB，在 6~10dB 范围内，按照要求修正后的实际设备噪声为 63dB；
- e) 实测噪声为 67dB，与背景噪声差值超过 10dB，则不作修正。

注：如果测试环境使用整流型直流源，直接使用噪声仪进行测定，则可能带入更大的环境噪声，为准确测量可将其它运行辅助设备与被测设备隔离；另如逆变器的关键元器件选型不当，则噪声容易超标，如电抗器的选型。

11 自动开关机

11.1 要求

逆变器应根据日照条件实现自动开关机。

11.2 测试设备

示波器、光伏模拟器、功率分析仪。

11.3 试验方法

- 1) 按照图1 逆变器工作的线路接好试验线路；
- 2) 调节直流源，使其输入电压从低于逆变器允许工作范围的下限值逐渐增加，当电压高于逆变器允许的最小电压时逆变器应能自动开机；
- 3) 逆变器工作稳定后，降低直流侧电压使其低于规定的下限范围，逆变器可自动关机；
- 4) 逆变器的输出状态可通过示波器来观察其交流输出侧的电流波形。

12 软启动

12.1 要求

逆变器在启动运行时，输出功率缓慢增加，输出功率变化率可调，输出电流无冲击现象。

12.2 测试设备

示波器、光伏模拟器、功率分析仪。

12.3 试验方法

- 1) 按照图1逆变器工作的线路接好试验线路，用功率分析仪监测逆变器的输出功率；
- 2) 逆变器启动过程中，功率变化应缓慢增加，且变化率可调，通过示波器观察逆变器启动过程中无冲击电流。

13 通讯接口

13.1 要求

逆变器设置本地通信接口，通讯接口应连接牢固，以保护连接电缆与设备的有效连接，通讯端口应具有一定的抗电磁干扰能力，通讯可选 RS485 等常规电气接口，Modbus 常规的通讯协议。

13.2 测试设备

示波器、光伏模拟器、功率分析仪、PC。

13.3 试验方法

- 1) 检查通讯接口是否牢固连接；
- 2) 现场安装的逆变器通讯软件，通过发送一些控制命令检查其通讯是否正常，是否与上位机或者监控装置正确连接；

14 连续工作

14.1 要求

逆变器额定功率下运行 72 小时，运行过程中应无异常现象发生。

14.2 测试设备

功率分析仪。

14.3 试验方法

- 1) 按照图1逆变器性能测试线路接好测试线路图；
- 2) 保持逆变器在额定条件下运行，使用功率分析仪监视逆变器运行情况，72小时内应无异常现象发生。