

# 团 体 标 准

---

## 光伏并网逆变器中功率半导体器件工况适应性试验要求及方法

Requirements and methods for tests of mission-profile adaptability  
of power semiconductor devices in grid-tied photovoltaic inverters

（征求意见稿）

（本稿案完成时间：2025-04-22）



# 目 次

前 言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 试验环境 .....	2
5 试验装置 .....	2
5.1 试验电路 .....	3
5.2 功率半导体器件特性参数提取装置 .....	3
6 试验项目与要求 .....	3
6.1 试验项目 .....	3
6.2 试验要求 .....	4
7 不同驱动参数及调制策略下的试验 .....	4
7.1 不同驱动电阻下的开关试验 .....	4
7.2 不同调制策略下的损耗试验 .....	5
8 不同功率输出状态下的试验 .....	6
8.1 单位功率因数下的重载试验 .....	6
8.2 不同功率因数下的热分布试验 .....	7
9 不同电网电压状态下的实验 .....	7
9.1 不同电压谐波下的损耗实验 .....	7
9.2 不同交流电压下的损耗实验 .....	8
10 不同电网故障下的试验 .....	9
10.1 单次电网故障穿越下的过载试验 .....	9
10.2 多次电网故障穿越下的耐受实验 .....	9
11 不同环境工况下的试验 .....	10
11.1 不同直流电压下的开关试验 .....	10
11.2 不同环境温度下的通流试验 .....	11
12 试验报告 .....	12
附录 A（资料性附录）功率半导体器件工况适应性试验电路 .....	13
附录 B（资料性附录）试验过程波形示意图 .....	14



# 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由xxx归口。

本文件起草单位：上海交通大学、锦浪科技股份有限公司、上海芯上科电器科学仪器有限公司、阳光电源股份有限公司。

本文件主要起草人：马柯、夏世豪、张文平、尹天文、蔡旭、汪洋、邓杨军、曹棋、陈页。



# 光伏并网逆变器中功率半导体器件工况适应性试验要求及方法

## 1 范围

本文件规定了光伏并网逆变器中功率半导体器件的工况适应性试验要求及方法。

本文件适用于最大直流电压不超过1500V、交流输出电压不超过1000V的光伏并网逆变器中的功率半导体器件，包括绝缘栅双极晶体管（IGBT）、金属氧化物半导体场效应管（MOSFET）与反并联二极管，适用的器件类型包括分立器件与模块两类。

更高电压等级的光伏并网逆变器中的功率半导体器件可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 4023 半导体器件 分立器件和集成电路 第2部分：整流二极管

GB/T 4586 半导体器件 分立器件 第8部分：场效应晶体管

GB/T 4937.34 半导体器件 机械和气候试验方法 第34部分：功率循环

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 29309 电工电子产品加速应力试验规程 高加速寿命试验导则

GB/T 29319 光伏发电系统接入配电网技术规定

GB/T 29332 半导体器件 分立器件 第9部分：绝缘栅双极晶体管(IGBT)

GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术要求

NB/T 32004 光伏并网逆变器技术规范

## 3 术语和定义

GB/T 4586、GB/T 29332、NB/T 32004界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**功率半导体器件** power semiconductor device

可直接用于处理电能主电路中，实现电能变换或控制的电力电子器件。在本标准中主要指IGBT、MOSFET与反并联二极管。

### 3.2

**绝缘栅双极晶体管** insulated-gate bipolar transistor, IGBT

具有导电沟道和PN结，且流过沟道和结的电流由施加在栅极端和发射极端之间的电压产生的电场控制的晶体管。

### 3.3

**金属-氧化物半导体场效应晶体管** metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, MOSFET

每个栅极和沟道之间绝缘层是氧化物材料的一种绝缘栅场效应晶体管。

### 3.4

**光伏并网逆变器** grid-tied photovoltaic inverter

将光伏方阵输出的直流电变换成交流电后馈入电网的设备。

### 3.5

**集电极-发射极饱和电压**  $V_{ce\_sat}$

当被测试功率半导体器件（IGBT）集电极电流与栅极-发射极电压基本无关的栅极-发射极电压条件下的集电极与发射极电压。

### 3.6

**结-壳热阻**  $R_{th(j-c)}$

被测试功率半导体器件的半导体结到管壳的热阻。

### 3.7

**壳温**  $T_c$

在半导体器件管壳规定点测得的温度。

### 3.8

**结温**  $T_{vj}$

器件中主要发热部分的半导体结的温度。

### 3.9

**损耗**  $p_{loss}$

器件在工作过程中的耗散功率。

## 4 试验环境

试验环境应满足下列要求：

- a) 环境温度：+15℃～+40℃；
- b) 环境相对湿度：5%～75%；
- c) 大气压强 75 kPa～106 kPa；
- d) 无结霜、凝露、渗水、淋雨、日照等现象；
- e) 空气中应不含有腐蚀性、爆炸性微粒和气体。

## 5 试验装置



光伏并网逆变器中功率半导体器件工况适应性试验装置应包括但不限于以下部分：

- a) 试验电路；
- b) 功率半导体器件特性参数提取装置。

## 5.1 试验电路

光伏并网逆变器中功率半导体器件工况适应性试验电路应包括以下部分（参见附录A）：

- a) 光伏方阵特性模拟器，模拟光伏方阵的 I-V 特性和时间响应特性；
- b) 环境温度应力模拟器，按照 GB/T 29309 附录 A 的要求设置被测试功率半导体器件的环境温度，应满足以下要求：
  - 1) 具有快速升降温的能力，最大温度变化速率不小于 60 K/min；
  - 2) 试验温度可调节范围不小于-20℃～50℃；
  - 3) 温度波动度不超过±3 K。
- c) 滤波电抗器，参数宜由委托测试方提供；
- d) 光伏并网逆变器桥臂模拟电路，由待测试功率模块/单管组成，用于为待测试器件模拟实际光伏并网逆变器中的拓扑结构及运行状态，包括：
  - 1) 电网电压模拟桥臂：用于模拟光伏逆变器实际运行过程中电网电压；
  - 2) 输出电流模拟桥臂：用于模拟光伏逆变器实际运行过程中负载电流。

## 5.2 功率半导体器件特性参数提取装置

功率半导体器件特性参数提取装置应按照GB/T 29332规定的方法，提取被测试功率半导体器件的特性参数以表征其健康状态，应提取的特性参数如下：

- a) 功率半导体器件饱和压降，测量误差应不大于±10mV；
- b) 功率半导体器件结壳热阻，测量误差应不大于±5%；

注：若目标器件为MOSFET，则功率半导体器件特性参数提取装置应按照GB/T 4586规定的方法，在线/离线提取被测MOSFET的特性参数以表征其健康状态。

若目标器件为二极管，则功率半导体器件特性参数提取装置应按照GB/T 4023规定的方法，在线/离线提取被测二极管的特性参数以表征其健康状态。

## 6 试验项目与要求

### 6.1 试验项目

具体试验项目应遵循表1的规定，可根据实际试验需求选择试验项目、设置试验顺序。试验结果可用于进行功率半导体器件的功能判断或失效分析及器件筛选。

表1 试验项目

序号	工况层级	试验类别	试验项目	章节号
1	开关级	不同驱动参数及调制策略下的试验	不同驱动电阻下的开关试验	7.1
			不同调制策略下的损耗试验	7.2

2	控制级	不同功率输出状态下的试验	单位功率因数下的重载试验	8.1
			不同功率因数下的热分布试验	8.2
3	负载级	不同电网电压状态下的实验	不同电压谐波下的损耗实验	9.1
			不同交流电压下的损耗实验	9.2
		不同电网故障下的试验	单次故障穿越下的过载试验	10.1
			多次故障穿越下的耐受试验	10.2
4	环境级	不同环境工况下的试验	不同直流电压下的开关试验	11.1
			不同环境温度下的通流试验	11.2

## 6.2 试验要求

### 6.2.1 试验平台

试验前，按试验要求准备试验装置、被测试功率半导体器件、夹具、供电电源等，搭建试验平台。

### 6.2.2 试验样品

除非相关规范另有规定，试验样本一般不少于组成相应测试电路的最少数量，例如：I 型三电平单相全桥测试电路中单管数量不少于 8 个。

试验前应对样品进行充分的检查及通电运行测试，确保样品安装牢靠，不应有松动脱落现象；绝缘性能满足 NB/T 32004 标准要求，保证能够正常工作。

### 6.2.3 样品预处理

必要时，对试验样品进行以下预处理：

- 去除试验样品的外包装，不开盖测试；
- 按制造商规定的要求进行样品预处理。

## 7 不同驱动参数及调制策略下的试验

### 7.1 不同驱动电阻下的开关试验

#### 7.1.1 试验目的

该试验旨在测试功率半导体器件在不同驱动电阻下的总损耗及开关性能，可用于光伏逆变器设计时的器件选型或器件驱动参数的选择。

#### 7.1.2 试验步骤

试验应按如下步骤进行：

- a) 根据被测试功率半导体器件的数据手册，设定环境温度  $T_a$ 、被测器件的壳温  $T_c$ 、门极开通电压  $V_{gon}$ 、门极关断电压  $V_{goff}$  以及直流测试电流  $I_c$ ；
- b) 按照所模拟光伏并网逆变器的产品技术要求，设定被测功率半导体器件的开关频率  $f_{sw}$ 、直流工作电压  $U_{PV}$ ；在测试电压给定中设置测试电压为  $0.4U_{PV}$ ，在测试电流给定中设置测试电流为  $I_c$ ；
- c) 根据被测试功率半导体器件的数据手册，设定被测功率半导体器件的开通驱动电阻  $R_{gon}$  与关断驱动电阻  $R_{goff}$ ；
- d) 启动试验仪器，控制输出测试电流为  $I_c$ ，等待器件运行至热稳态后获取功率半导体器件的开通、关断过程中的电流、电压波形；
- e) 获取并记录此时被测功率半导体器件的壳温  $T_c$ 、结温  $T_{vj}$ ，按式（1）计算此时功率半导体器件服役工况下的总损耗。结温测试方法应符合 GB/T 4937.34 或 GB/T 29332 的相关规定；

$$P_{loss} = \frac{T_{vj} - T_c}{R_{th}} \quad (1)$$

式中： $T_c$ ——被测功率半导体器件壳温；

$T_{vj}$ ——被测功率半导体器件结温；

$R_{th}$ ——被测功率半导体器件结-壳热阻；

$P_{loss}$ ——被测器件总损耗。

**注：**过程中功率半导体器件的开通、关断过程中的电流、电压波形如附录图 B 所示。

若目标器件为 MOSFET，则结温测试方法应符合 GB/T 4586 的相关规定。

- f) 以  $1\Omega$  为步长，增加开通驱动电阻与关断驱动电阻，重复步骤 d)~e)，直到开通驱动电阻与关断驱动电阻分别增加至  $2R_{gon}$  与  $2R_{goff}$  停止试验。

### 7.1.3 试验结果评价

功率半导体器件在不同驱动电阻下的开关试验，试验结果应满足：

- a) 功率半导体器件的总损耗应不大于委托方规定的最大损耗；
- b) 关断电压过冲应不大于委托方规定的最大电压过冲。

## 7.2 不同调制策略下的损耗试验

### 7.2.1 试验目的

该试验旨在提取功率器件在特定调制策略下的总损耗，并评估逆变器拓扑中各分立器件或单个模块各部分的发热情况，为光伏逆变器设计时的器件选型或调制策略选择提供参考。

### 7.2.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

- a) 按照 GB/T 29332 获取功率半导体器件的结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$ ；
- b) 设定被测功率半导体器件的开关频率  $f_{sw}$ 、额定电流  $I_n$  以及直流工作电压  $U_{PV}$ ；

- c) 设定光伏逆变器模拟器的调制策略；
- d) 启动试验仪器，使其输出  $10\%I_n$  的直流电流并运行至热稳态；
- e) 获取并记录此时各分立器件的壳温  $T_c$ 、结温  $T_{vj}$ ，或测试模块的壳温  $T_c$  及各部分的结温  $T_{vj}$ ，并按式 (1) 计算此时功率半导体器件服役工况下的总损耗。结温测试方法应符合 GB/T 4937.34 或 GB/T 29332 的相关规定；
- f) 以  $10\%I_n$  为步长，逐步提高输出直流电流并运行至热稳态，按步骤 e) 计算不同电流下功率半导体器件的损耗，直至输出直流电流提高至  $110\%I_n$ 。

注：若目标器件为 MOSFET，则结-壳热阻提取方法、结温测试方法等应符合 GB/T 4586 的相关规定。

### 7.2.3 试验结果评价

功率半导体器件在不同调制策略下的损耗试验，试验结果应满足：

- a) 功率半导体器件的总损耗应不大于委托方规定的最大损耗；
- b) 各分立器件或测试模块各部分的结温差异应不大于委托方规定的最大温度差异。

## 8 不同功率输出状态下的试验

### 8.1 单位功率因数下的重载试验

#### 8.1.1 试验目的

该试验旨在测试功率半导体器件在长期稳态重载工况下的耐受能力及重载运行后性能退化情况，测试结果应能用于评估功率半导体器件可靠性。

#### 8.1.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

- a) 按照 GB/T 29332 获取并记录功率半导体器件的初始结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$  与导通压降  $V_{ce\_sat}$ ；
- b) 按照所模拟光伏并网逆变器的产品技术要求，设定被测功率半导体器件的驱动电压、驱动电阻、开关频率  $f_{sw}$ 、直流工作电压  $U_{pv}$ 、额定输出功率  $P_n$ ；
- c) 在测试电压给定中设定交流额定电压及频率，并设置交流电压与交流电流的功率因数为单位功率因数；
- d) 根据 GB/T 29319 与 GB/T 34120 的要求设置单次重载运行的工况，单次重载工况输出功率为  $110\%P_n$ ，运行时间  $\geq 10\text{min}$ 。
- e) 按照 GB/T 4937.34 的规定设置长期重载的功率循环测试条件，并设置循环次数  $N_c$ ，循环次数  $N_c$  应为 1000 的整数倍；
- f) 启动试验装置进行长期重载循环测试，获取被测器件的结温  $T_{vj}$ 。结温测试方法应符合 GB/T 4937.34 或 GB/T 29332 的相关规定；
- g) 长期重载运行结束后，按照 GB/T 29332 规定的方法测试被测功率半导体器件的结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$  与导通压降  $V_{ce\_sat}$ 。

### 8.1.3 试验结果评价

功率半导体器件在单位功率因数下的重载试验，试验结果应满足：

- a) 过载运行过程中器件的最大结温应不超过允许的最大安全运行结温；
- b) 试验前后，被测功率半导体器件的导通压降与结-壳热阻的增量应不超过委托方规定的最大增量。

注：若目标器件为MOSFET，则应关注能表征MOSFET健康状态的技术指标。

## 8.2 不同功率因数下的热分布试验

### 8.2.1 试验目的

该试验旨在提取功率半导体器件在不同功率因数下的损耗，测试逆变器拓扑中各分立器件或单个模块各部分的发热情况，测试结果可用于不同功率因数下器件发热情况的评估。

### 8.2.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

- a) 按照 GB/T 29332 获取功率半导体器件的结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$ ；
- b) 设定被测功率半导体器件的开关频率以及额定输出功率  $P_n$ ；
- c) 根据器件制造厂商给出的参数设定功率半导体器件服役工况模拟装置的直流工作电压、交流额定电压及频率，设置初始功率因数为 1.00；
- d) 启动试验仪器，使其输出额定输出功率至热稳态；
- e) 获取并记录此功率因数下各分立器件的壳温  $T_c$ 、结温  $T_{vj}$ ，或测试模块的壳温  $T_c$  及各部分的结温  $T_{vj}$ ，并按式（1）计算此时功率半导体器件服役工况下的总损耗。结温测试方法应符合 GB/T 4937.34 或 GB/T 29332 的相关规定；
- f) 以 0.02 为步长逐步降低功率因数，重复步骤 d) ~ e)，获取不同功率因数下器件的损耗及发热分布情况，直至功率因数为-1.00 停止试验。

注：若目标器件为 MOSFET，则结-壳热阻提取方法、结温测试方法等应符合 GB/T 4586 的相关规定。

### 8.2.3 试验结果评价

功率半导体器件在不同功率因数下的热分布试验，试验结果应满足：

- a) 功率半导体器件的总损耗应不大于委托方规定的最大损耗；
- b) 各分立器件或测试模块各部分的结温差异应不大于委托方规定的最大温度差异。

## 9 不同电网电压状态下的实验

### 9.1 不同电压谐波下的损耗实验

#### 9.1.1 试验目的

该试验旨在电网电压包含不同谐波的情况下，对逆变器拓扑中各分立器件或单个模块各部分的发热情况进行测试，测试结果可用于电网电压存在谐波的工况下功率半导体器件发热情况的评估。

### 9.1.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

- a) 按照 GB/T 29332-2012 获取功率器件的结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$ ；
- b) 设定被测功率器件的开关频率以及额定输出功率  $P_n$ ；
- c) 根据器件制造厂商给出的参数设定功率器件服役工况模拟装置的直流工作电压、交流额定电压及频率，设置电网初始谐波含量为 0%；
- d) 启动试验仪器，使其输出额定输出功率至热稳态；
- e) 获取并记录此功率因数下各分立器件的壳温  $T_c$ 、结温  $T_{vj}$ ，或测试模块的壳温  $T_c$  及各部分的结温  $T_{vj}$ ，并按式（1）计算此时功率器件服役工况下的总损耗。结温测试方法应符合 GB/T 4937.34 或 GB/T 29332 的相关规定；
- f) 以 0.5%为步长逐步增加电网电压指定谐波，重复步骤 d) ~ e)，获取不同谐波电压下器件的损耗及发热分布情况，直至电网谐波含量不满足 GB/T 14549 中要求时停止试验。

注：若目标器件为 MOSFET，则结-壳热阻提取方法、结温测试方法等应符合 GB/T 4586 的相关规定。

### 9.1.3 试验结果评价

功率半导体器件在不同电压谐波下的损耗实验，试验结果应满足：

- a) 功率半导体器件的总损耗应不大于委托方规定的最大损耗。

## 9.2 不同交流电压下的损耗实验

### 9.2.1 试验目的

该试验旨在电网不平衡工况下，对逆变器拓扑中各分立器件或单个模块各部分的发热情况进行测试，测试结果可用于器件选型或电网不平衡工况下器件发热情况的评估。

### 9.2.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

- a) 按照 GB/T 29332-2012 获取功率器件的结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$ ；
- b) 设定被测功率器件的开关频率以及额定输出功率  $P_n$ ；
- c) 根据器件制造厂商给出的参数设定功率器件服役工况模拟装置的直流工作电压、交流额定电压及频率，设置功率因数为单位功率因数，电网初始不平衡度为 0%；
- d) 启动试验仪器，使其输出额定输出功率至热稳态；
- e) 获取并记录此功率因数下各分立器件的壳温  $T_c$ 、结温  $T_{vj}$ ，或测试模块的壳温  $T_c$  及各部分的结温  $T_{vj}$ ，并按式（1）计算此时功率器件服役工况下的总损耗。结温测试方法应符合 GB/T 4937.34 或 GB/T 29332 的相关规定；
- f) 以 1%为步长逐步增加电网不平衡度，重复步骤 d) ~ e)，获取不同交流电压下器件的损耗及发热分布情况，直至电网不平衡度不满足 GB/T 15543 中规定时停止试验。

注：若目标器件为 MOSFET，则结-壳热阻提取方法、结温测试方法等应符合 GB/T 4586 的相关规定。

### 9.2.3 试验结果评价

功率半导体器件在不同交流电压下的损耗实验，试验结果应满足：

- a) 功率半导体器件的总损耗应不大于委托方规定的最大损耗；
- b) 各分立器件或测试模块各部分的结温差异应不大于委托方规定的最大温度差异。

注：若测试拓扑为单相拓扑，则推荐在电网电压不平衡工况下按 A、B、C 相分别进行试验。

## 10 不同电网故障下的试验

### 10.1 单次电网故障穿越下的过载试验

#### 10.1.1 试验目的

该试验旨在复现电网故障条件下功率半导体器件的电热应力，对功率半导体器件在电网单次故障工况下的短时过载通过率、发热情况进行测试。

#### 10.1.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

- a) 按照 GB/T 29332 获取功率半导体器件的小集电极电流  $I_c$  下结温  $T_{vj}$  与集电极-发射极电压  $V_{ce}$  的关系；
- b) 按照所模拟光伏并网逆变器的产品技术要求，设定被测功率半导体器件的驱动电压、驱动电阻、开关频率  $f_{sw}$ 、直流工作电压  $U_{pv}$  以及额定输出功率  $P_n$ ；
- c) 在测试电压给定中设定交流额定电压及频率，并设置交流电压与交流电流的功率因数为单位功率因数；
- d) 启动试验装置，控制其输出额定功率并运行至热稳态；
- e) 按照 GB/T 29319 中故障穿越的相关规定，在测试电压给定中按高/低电压穿越工况中电网电压的变化设置测试电压  $u_c$  的变化，在测试电流给定中按光伏并网逆变器在高/低电压穿越工况下输出的有功电流、无功电流设置测试电流  $i_c$  的变化，设置完成后开始故障穿越；
- f) 故障穿越结束后，按照 GB/T 29332 规定的方法向被测试器件中注入小集电极电流，并根据步骤 a) 获得的关系提取当前结温  $T_{vjo}$ 。

注：若目标器件为 MOSFET，则在步骤 a) 中应按照 GB/T 4586 规定的方法获取 MOSFET 的结温关系式。

#### 10.1.3 试验结果评价

功率半导体器件在故障穿越试验中，试验结果应满足：

- a) 故障穿越过程中功率半导体器件的最大结温应不超过允许的最大安全运行结温；。
- 注：连续故障穿越可参照 GB/T 29319 中连续故障穿越的标准设置试验条件，推荐的技术评价指标与单次故障穿越相同。

### 10.2 多次电网故障穿越下的耐受实验

#### 10.2.1 试验目的

该试验旨在测试功率半导体器件在多次电网故障工况下的耐受能力及运行后性能退化情况，测试结果应能用于评估功率半导体器件可靠性。

### 10.2.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

功率半导体器件多次故障穿越下的耐受实验按如下步骤进行：

- 按照 GB/T 29332 获取并记录功率半导体器件的初始结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$  与导通压降  $V_{ce\_sat}$ ；
- 按照所模拟光伏并网逆变器的产品技术要求，设定被测功率半导体器件的驱动电压、驱动电阻、开关频率  $f_{sw}$ 、直流工作电压  $U_{PV}$ 、额定输出功率  $P_n$ ；
- 在测试电压给定中设定交流额定电压及频率，并设置交流电压与交流电流的功率因数为单位功率因数；
- 根据 GB/T 29319 与 GB/T 34120 的要求设置单次高/低电压穿越工况；
- 按照 GB/T 4937.34 与 GB/T 29319 的规定设置多次高/低电压穿越的功率循环测试条件，并设置循环次数  $N_c$ ，循环次数  $N_c$  应为 10000 的整数倍；
- 启动试验装置进行多次高/低电压穿越的功率循环测试，获取被测器件的结温  $T_{vj}$ 。结温测试方法应符合 GB/T 4937.34 或 GB/T 29332 的相关规定；
- 多次高/低电压穿越运行结束后，按照 GB/T 29332 规定的方法测试被测功率半导体器件的结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$  与导通压降  $V_{ce\_sat}$ 。

### 10.2.3 试验结果评价

功率半导体器件在多次故障穿越下的耐受实验，试验结果应满足：

- 运行过程中器件的最大结温应不超过允许的最大安全运行结温；
- 试验前后，被测功率半导体器件的导通压降与结-壳热阻的增量应不超过委托方规定的最大增量。

注：若目标器件为 MOSFET，则应关注能表征 MOSFET 健康状态的技术指标。

## 11 不同环境工况下的试验

### 11.1 不同直流电压下的开关试验

#### 11.1.1 试验目的

该试验模拟逆变器在不同光照强度下的直流电压变化，旨在评估器件在不同光照条件下的损耗。

#### 11.1.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

- 按照 GB/T 29332 获取功率半导体器件的结-壳热阻  $R_{th(j-c)}$ ；



- b) 根据被测试功率半导体器件的数据手册，设定环境温度  $T_a$ 、被测器件的壳温  $T_c$ 、门极开通电压  $V_{gon}$ 、门极关断电压  $V_{goff}$ ；
- c) 按照所模拟光伏并网逆变器的产品技术要求，设定被测功率半导体器件的开关频率  $f_{sw}$ 、直流工作电压  $U_{PV}$  以及直流测试电流  $I_c$ ；在测试电压给定中设置测试电压为  $0.4U_{PV}$ ，在测试电流给定中设置测试电流为  $I_c$ ；
- d) 根据厂家的实际使用需求，设定被测功率半导体器件的开通驱动电阻  $R_{gon}$  与关断驱动电阻  $R_{goff}$ ；
- e) 设定初始直流电压为最低工作直流母线电压，并在测试电压给定中设置测试电压给定为  $0.4U_{PV}$ ；
- f) 启动试验装置，控制其输出测试电流  $I_c$ ，等待器件达到热稳态后获取功率半导体器件的开通、关断过程中的电流、电压波形；
- g) 记录此时功率半导体器件的壳温  $T_c$ 、结温  $T_{vj}$ ，并按式（1）计算此时功率半导体器件服役工况下的总损耗。结温测试方法应符合 GB/T 4937.34 或 GB/T 29332 的相关规定；
- h) 以 100V 为步长提高直流电压，重复步骤 e) ~ f)，直至最高工作直流母线电压时停止试验。

注：若目标器件为 MOSFET，则结-壳热阻提取方法、结温测试方法等应符合 GB/T 4586 的相关规定。

### 11.1.3 试验结果评价

功率半导体器件在不同直流电压下的开关试验，试验结果应满足：

- a) 功率半导体器件的总损耗应不大于委托方规定的最大损耗；
- b) 关断电压过冲应不大于委托方规定的最大电压过冲。

## 11.2 不同环境温度下的通流试验

### 11.2.1 试验目的

该试验旨在评估功率半导体器件在不同环境温度下的温升情况，为不同环境温度下器件安全运行区间提供参考。

### 11.2.2 试验步骤

试验按如下步骤进行：

- a) 根据被测试功率半导体器件的数据手册，设定被测器件的门极开通电压  $V_{gon}$ 、门极关断电压  $V_{goff}$ ；
- b) 按照所模拟光伏并网逆变器的产品技术要求，设定被测功率半导体器件的开关频率  $f_{sw}$ 、直流工作电压  $U_{PV}$ 、额定交流测试电流  $I_{cn}$ ；在测试电压给定中设置测试电压为  $0.4U_{PV}$ ；
- c) 根据厂家的实际使用需求，设定被测功率半导体器件的开通驱动电阻  $R_{gon}$  与关断驱动电阻  $R_{goff}$ ；

- d) 设定初始环境温度为 $-25^{\circ}\text{C}$ ;
- e) 在测试电流给定中设置测试电流为  $10\%I_{cn}$ , 启动试验仪器, 等待器件运行至热稳态;
- f) 按照 GB/T 29332 规定的方法, 获取并记录此时各分立器件的壳温  $T_c$ 、结温  $T_{vj}$ ;

注: 对于功率模块, 应获取模块中各部分的结温。

- g) 以  $10\%I_{cn}$  为步长, 逐步提高输出直流电流并运行至热稳态, 直至稳态最大结温  $T_{vj}$  达到器件手册中推荐的最大运行结温, 此时测试电流为该温度下最大安全运行电流。
- h) 以  $5^{\circ}\text{C}$  为步长提高环境温度, 重复步骤 e) ~ g), 直至环境温度到  $+60^{\circ}\text{C}$  时停止试验。

注: 若目标器件为 MOSFET, 则结温测试方法等应符合 GB/T 4586 的相关规定。

### 11.2.3 试验结果评价

功率半导体器件在不同环境温度下的性能试验, 试验结果应满足:

- a) 器件在不同环境温度下的最大安全运行电流应不小于委托方的规定值。

## 12 试验报告

试验报告应至少给出以下信息:

- a) 客户 (名称和地址);
- b) 实验室 (名称和地址, 如果有, 还应包括合格认可的详细信息);
- c) 试验日期;
- d) 试验人员;
- e) 试验样品信息 (参数信息、制造商宣称的性能水平、软硬件版本号、关键元器件清单、样品照片);
- f) 试验照片 (包括: 试验样品安装、固定及相关布局图);
- g) 试验项目及应力条件;
- h) 试验样品的预处理信息;
- i) 工况及关键参数监测信息 (包括: 试验样品组成的电路拓扑、驱动电压、驱动电阻、开关频率、直流母线电压、电网电压、逆变器输出电流、试验样品壳温、结温、导通压降、结壳热阻等);
- j) 试验样品的结果评估;
- k) 失效或故障现象描述;
- l) 试验样品的工作极限、破坏极限或其他重要信息。

附录 A（资料性附录）功率半导体器件工况适应性试验电路

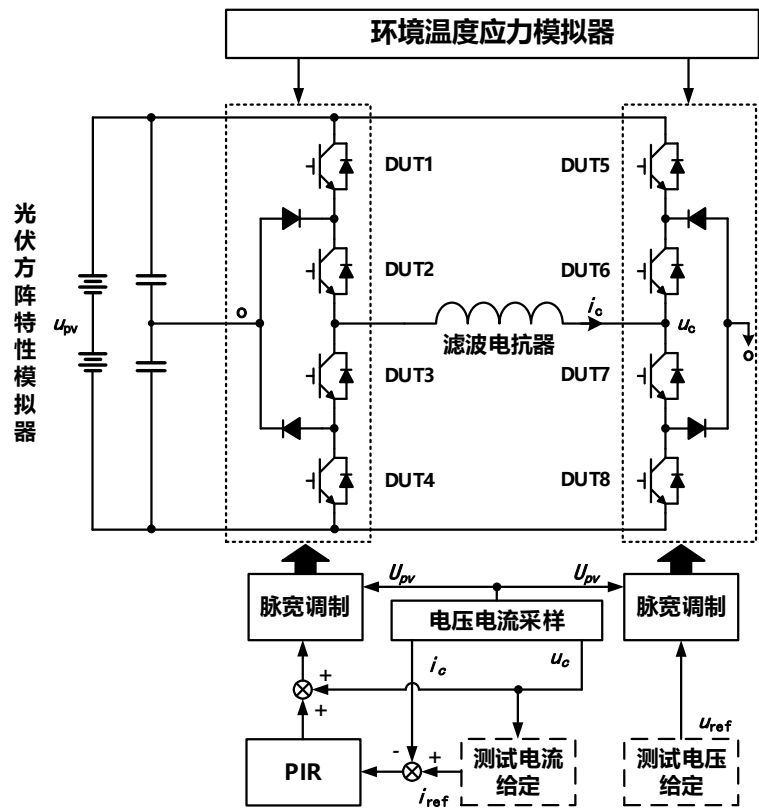


图 A.1 功率半导体器件工况适应性试验电路与控制结构：I 型三电平拓扑

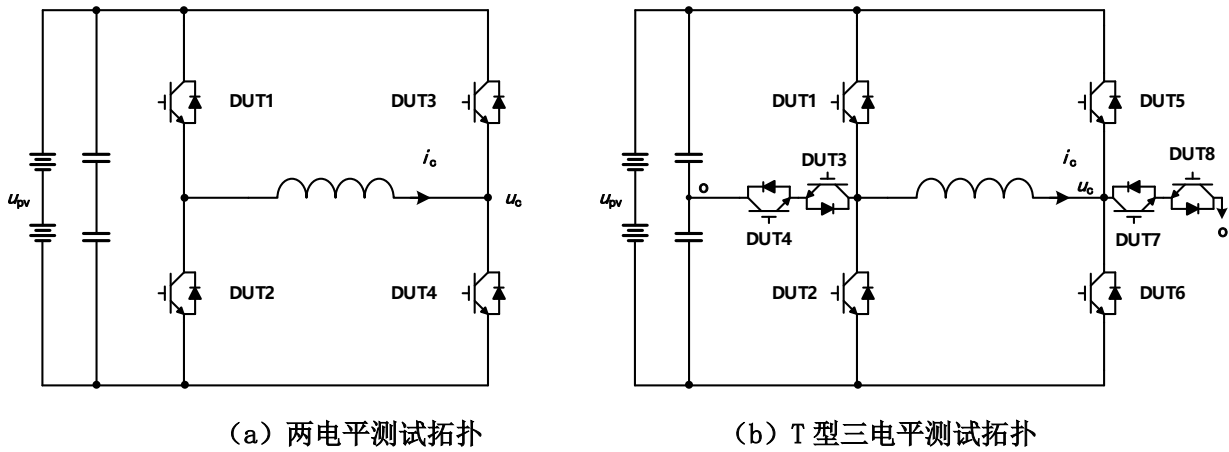


图 A.2 功率半导体器件工况适应性试验电路

注：可按照实际需求扩展为三相试验电路。

## 附录 B（资料性附录） 试验过程波形示意图

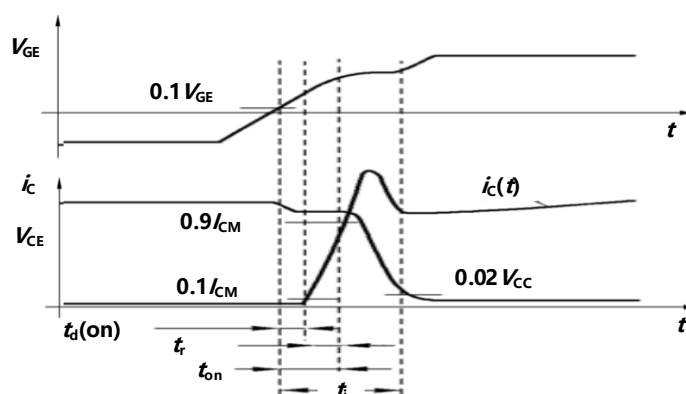


图 B.1 开通期间的电流、电压波形

注：  $t_r$  为上升时间；  $t_{d(on)}$  为开通延迟时间；  $t_{on}$  为开通时间；  $t_i$  为积分时间间隔。

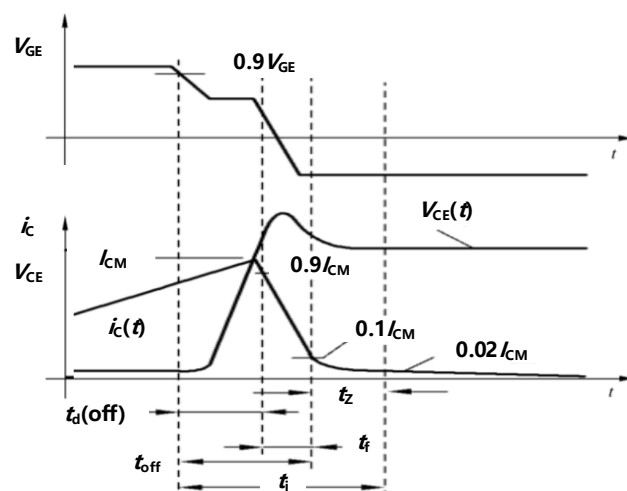


图 B.2 关断期间的电压、电流波形

注：  $t_f$  为下降时间；  $t_{d(off)}$  为关断延迟时间；  $t_{off}$  为关断时间；  $t_z$  为尾部时间；  $t_i$  为积分时间间隔。