

ICS 31.080.30  
K 46



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 37660—2019

---

## 柔性直流输电用电力电子器件技术规范

Technical specification of power electronic devices for high-voltage direct current  
(HVDC) transmission using voltage sourced converters (VSC)

2019-06-04 发布

2020-01-01 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布



## 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 额定值和特性 .....	2
4.1 额定值 .....	2
4.2 特性 .....	3
5 试验 .....	5
5.1 例行试验 .....	5
5.2 型式试验 .....	6
6 标志和订货单 .....	11
6.1 标志 .....	11
6.2 订货单 .....	12



## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国输配电用电力电子器件标准化技术委员会(SAC/TC 413)归口。

本标准起草单位:全球能源互联网研究院有限公司、西安电力电子技术研究所、西安高压电器研究院有限责任公司、国家电网有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、西安爱派科电力电子有限公司、英飞凌科技(中国)有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司检修试验中心、威海新佳电子有限公司、嘉兴斯达半导体股份有限公司、许继集团有限公司、国网经济技术研究院有限公司、西安中车永电电气有限公司、特变电工新疆新能源股份有限公司、西安西电电气研究院有限责任公司、国网江苏省电力有限公司、国网四川省电力公司电力科学研究院、中车永济电机有限公司。

本标准起草人:李强、许韦华、蔚红旗、杨晓辉、王恒、罗湘、饶宏、张立、吕铮、陈子颖、唐金昆、乜连波、戴志展、梅念、李探、黄熹东、陈俊、王奔、魏伟、罗雨、黄莹、夏克鹏、于凯、盛俊毅、党瑞、史明明、徐晓轶、甘德刚、王昭、董添华、刘隆晨。



# 柔性直流输电用电力电子器件技术规范

## 1 范围

本标准规定了柔性直流输电用电力电子器件的术语和定义、额定值和特性、试验、标志和订货单。

本标准适用于柔性直流输电用 IGBT-二极管对,柔性直流输电用其他类型的全控型电力电子器件也可参照执行。

## 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 4023—2015 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 29332—2012 半导体器件 分立器件 第9部分:绝缘栅双极晶体管(IGBT)

GB/T 34118—2017 高压直流系统用电压源换流器术语

IEC 60747-15:2010 半导体器件 分立器件 第15部分:绝缘功率半导体器件(Semiconductor devices—Discrete devices—Part 15:Isolated power semiconductor devices)

## 3 术语和定义

GB/T 29332—2012、GB/T 34118—2017 和 GB/T 4023—2015 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### IGBT-二极管对 IGBT-diode pair

IGBT 和与其反并联的续流二极管的组合。

[GB/T 34118—2017,定义 7.4]

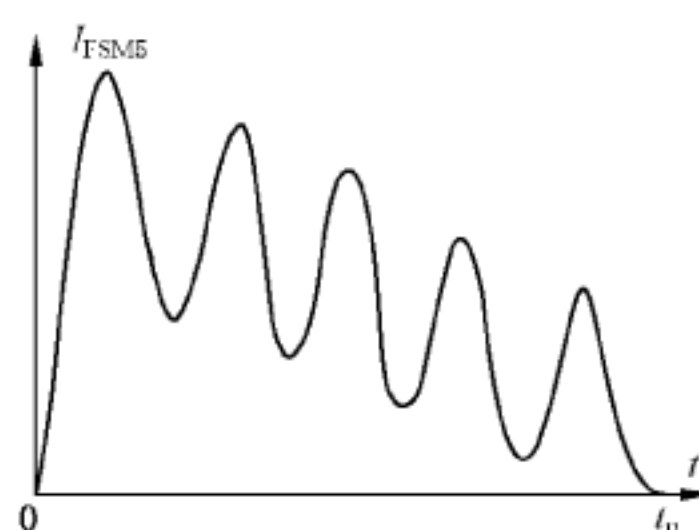
### 3.2

#### 五周波正向浪涌电流 five-cycle surge forward current

$I_{FSM5}$

一种具有图 1 中的波形、持续 5 个工频周期的二极管正向电流。

注:该电流由于电路条件异常(例如故障)引起,导致器件结温超过或可能超过最大额定值,但该电流在器件工作寿命期内出现的次数有限。



说明:

$I_{FSM5}$  —— 五周波正向浪涌电流;

$t_p$  —— 脉冲宽度。

图 1 五周波正向浪涌电流波形

4 额定值和特性

4.1 额定值

4.1.1 IGBT 的额定值

制造商应提供符合表 1 规定的 IGBT 额定值。

表 1 IGBT 的额定值

序号	项目	符号	单位	参数值			规定条件
				最小值	典型值	最大值	
1	结温	$T_j$	°C			√	/
2	贮存温度	$T_{stg}$	°C	√		√	/
3	电压(规定的时间、频率、温度等条件下)						
3.1	集电极-发射极电压	$V_{CES}$	V			√	室温;栅极-发射极短路
3.2	栅极-发射极电压	$V_{GES}$	V			√	室温;集电极-发射极短路
3.3	绝缘电压	$V_{isol}$	V			√	室温;施加的交流半波电压频率和方均根值;试验持续时间
4	电流(规定的时间、频率、温度等条件下)						
4.1	集电极电流	$I_C$	A			√	$T_j$
4.2	集电极峰值电流	$I_{CM}$	A	√	√	√	$T_j$ ;试验持续时间
4.3	通态过载电流	$I_{(OV)}$	A			√	$T_j$ ;通态电流值及波形参数;试验持续时间
4.4	管壳不破裂峰值电流	$I_{RSMC}$	A			√	$T_j$ ;通态电流值及波形参数;试验持续时间
5	反偏安全工作区	RBSOA	/	提供 IGBT 关断期间的短时间内能同时承受集电极电流和集电极-发射极电压而不失效的区域的图(见 GB/T 29332—2012,定义 3.3.16)			$T_j$ ;栅极-发射极电压值
6	短路安全工作区	SCSOA	/	提供由短路持续时间和负载短路条件下不可超过的集电极-发射极电压-对量值给出的区域的图(见 GB/T 29332—2012,定义 3.3.17)			$T_j$ ;栅极-发射极电压值;施加的集电极-发射极电压值;试验持续时间
注:“√”表示应提供;“/”表示无规定内容。							



## 4.1.2 二极管的额定值

制造商应提供符合表 2 规定的二极管额定值。

表 2 二极管的额定值

序号	项目	符号	单位	参数值			规定条件
				最小值	典型值	最大值	
1	额定结温	$T_j$	℃			√	/
2	贮存温度	$T_{stg}$	℃	√		√	/
3	电压(规定的时间、频率、温度等条件下)						
3.1	反向重复峰值电压	$V_{RRM}$	V			√	室温
3.2	绝缘电压	$V_{isol}$	V			√	室温;施加的交流半波电压频率和方均根值;试验持续时间
4	电流(规定的时间、频率、温度等条件下)						
4.1	正向电流	$I_F$	A			√	$T_j$
4.2	正向重复峰值电流	$I_{FRM}$	A			√	$T_j$ ;正向重复峰值电流和波形参数;频率
4.3	正向浪涌电流	$I_{FSM}$	A			√	$T_j$ ;正向浪涌电流值;浪涌次数和每次浪涌的周波数
4.4	$I^2t$ 值	$I^2t$				√	
4.5	五周波正向浪涌电流	$I_{FSM5}$	A			√	$T_j$ ;五周波正向浪涌电流值;脉冲宽度
5	安全工作区	SOA	/	提供二极管反向恢复期间的短时间内能同时承受反向电流和反向电压而不失效的区域的图(分别以反向电流和反向电压为维度)			$T_j$ ; $-di/dt$
注:“√”表示应提供;“/”表示无规定内容。							

## 4.2 特性

## 4.2.1 IGBT 的特性

制造商应提供符合表 3 规定的 IGBT 特性。

表 3 IGBT 的特性

序号	项目	符号	单位	数值			规定条件
				最小值	典型值	最大值	
1	集电极-发射极击穿电压	$V_{(BR)CES}$	V			√	室温;栅极-发射极短路
2	集电极-发射极饱和电压	$V_{CE(sat)}$	V	√	√	√	室温和 $T_j$ ;集电极电流值;栅极-发射极电压值
3	栅极-发射极阈值电压	$V_{GE(th)}$	V	√	√	√	室温;集电极-发射极电压值;集电极电流值
4	集电极截止电流	$I_{CES}$	V			√	室温和 $T_j$ ;集电极-发射极电压值;栅极-发射极短路
5	栅极漏电流	$I_{GES}$	mA			√	$T_j$ ;栅极-发射极电压值
6	输入电容	$C_{ies}$	nF		√		室温;集电极-发射极电压值;栅极-发射极电压值;频率
7	输出电容(适用时)	$C_{oes}$	nF		√		
8	反向传输电容	$C_{res}$	nF		√		
9	栅极电荷	$Q_G$	nF		√		$T_j$ ;集电极电流值;栅极-发射极电压值
10	栅极内阻	$r_g$	mΩ		√		$T_j$ ;集电极电流值;栅极-发射极电压值
11	开通期间的各时间间隔和开通能量						
11.1	开通能量	$E_{on}$	mJ		√		室温和 $T_j$ ;集电极电流值;集电极-发射极电压值;栅极-发射极电压值;电感性负载
11.2	上升时间	$t_r$	ns		√		
11.3	开通延迟时间	$t_{d(on)}$	ns		√		
12	关断期间的各时间间隔和关断能量						
12.1	关断能量	$E_{off}$	mJ		√		室温和 $T_j$ ;集电极电流值;集电极-发射极电压值;栅极-发射极电压值;电感性负载
12.2	关断延迟时间	$t_{d(off)}$	ns		√		
12.3	下降时间	$t_f$	ns		√		
12.4	尾部时间(适用时)	$t_z$	ns		√		
13	结-壳热阻	$R_{th(j-c)}$	K/kW		√		/
14	结-壳瞬态热阻抗(瞬态热阻抗最大值与耗散功率阶跃变化后的时间的曲线图或表达式)	$Z_{th(j-c)}$	/	提供对应的图(见 GB/T 29332—2012 中的 6.3.13)			/

注：“√”表示应提供;“/”表示无规定内容。

4.2.2 二极管的特性

制造商应提供符合表 4 规定的二极管特性。

表 4 二极管的特性

序号	项目	符号	单位	参数值			规定条件
				最小值	典型值	最大值	
1	正向电压	$V_F$	V			√	室温和 $T_j$ ; 正向电流值
2	反向恢复峰值电流	$i_{RM}$	A		√		$T_j$ ; 正向电流值; $-di/dt$ ; 电感性负载
3	恢复电荷	$Q_r$	$\mu C$		√		
4	反向恢复时间	$t_{rr}$	$\mu s$		√		
5	结-壳热阻	$R_{th(j-c)}$	K/kW		√		/
6	结-壳瞬态热阻抗(瞬态热阻抗最大值与耗散功率阶跃变化后的时间的曲线图或表达式)	$Z_{th(j-c)}$	/	提供对应的图 (见 GB/T 4023—2015 中的 7.2.2.3 和附录 A)			/

注：“√”表示应提供；“/”表示无规定内容。

## 5 试验

### 5.1 例行试验

#### 5.1.1 概述

例行试验项目见表 5。其中,1~7 项应按照 GB/T 29332—2012 规定的例行试验要求进行,8~10 项应按照 GB/T 4023—2015 规定的例行试验要求进行,第 11 项应按照 IEC 60747-15:2010 规定的接线端-外壳间绝缘电压试验要求进行。试验对象和合格判据应符合 GB/T 29332—2012、GB/T 4023—2015、IEC 60747-15:2010 中相应的规定。

表 5 例行试验项目

序号	器件类型	试验项目	对应条款
1	IGBT	集电极-发射极电压	5.1.2
2		集电极-发射极饱和电压	5.1.3
3		栅极-发射极阈值电压	5.1.4
4		集电极截止电流	5.1.5
5		栅极漏电流	5.1.6
6		开通期间的各时间间隔和开通能量	5.1.7
7		关断期间的各时间间隔和关断能量	5.1.8
8	二极管	正向电压	5.1.9
9		反向恢复峰值电流	5.1.10
10		恢复电荷和反向恢复时间	5.1.11
11	IGBT-二极管对	接线端-外壳间绝缘电压	5.1.12

5.1.2 集电极-发射极电压试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.2.1 的规定。

5.1.3 集电极-发射极饱和电压试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.2 的规定。

5.1.4 栅极-发射极阈值电压试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.3 的规定。

5.1.5 集电极截止电流试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.4 的规定。

5.1.6 栅极漏电流试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.5 的规定。

5.1.7 开通期间的各时间间隔和开通能量试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.11 的规定。

5.1.8 关断期间的各时间间隔和关断能量试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.12 的规定。

5.1.9 正向电压试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.1.2 的规定。

5.1.10 反向恢复峰值电流试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.1.4 的规定。

5.1.11 恢复电荷和反向恢复时间试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.1.5 的规定。

5.1.12 接线端-外壳间绝缘电压试验

按 IEC 60747-15:2010 中 6.1 的规定。

5.2 型式试验

5.2.1 概述

型式试验项目见表 6。试验时的规定条件和数值应符合 GB/T 29332—2012、GB/T 4023—2015、IEC 60747-15:2010 中相应试验的要求以及订货合同规定。

型式试验应在完好的试品上进行,以确定器件参数表中主要额定值和特性是否符合相应要求。



表 6 型式试验项目

序号	器件类型	试验项目	对应条款
1	IGBT	集电极-发射极电压	5.2.2
2		栅极-发射极电压	5.2.3
3		集电极电流	5.2.4
4		集电极峰值电流	5.2.5
5		通态过载电流	5.2.6
6		短路安全工作区	5.2.7
7		反偏安全工作区	5.2.8
8		集电极-发射极饱和电压	5.2.9
9		栅极-发射极阈值电压	5.2.10
10		集电极截止电流	5.2.11
11		栅极漏电流	5.2.12
12		输入电容	5.2.13
13		输出电容	5.2.14
14		开通期间的各时间间隔和开通能量	5.2.15
15		关断期间的各时间间隔和关断能量	5.2.16
16		结-壳热阻	5.2.17
17		高温阻断	5.2.18
18		高温栅极偏置	5.2.19
19		间歇工作寿命(负载循环)	5.2.20
20	二极管	正向电压	5.2.21
21		反向恢复峰值电流	5.2.22
22		恢复电荷和反向恢复时间	5.2.23
23		正向浪涌电流	5.2.24
24		五周波正向浪涌电流	5.2.25
25		热阻和瞬态热阻抗	5.2.26
26		热循环负载	5.2.27
27	IGBT-二极管对	接线端-外壳间绝缘电压	5.2.28
28		管壳不破裂(D)	5.2.29

注：标有(D)的试验是破坏性的。

### 5.2.2 集电极-发射极电压试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.2.1 的规定。

### 5.2.3 栅极-发射极电压试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.2.2 的规定。

5.2.4 集电极电流试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.2.3 的规定。

5.2.5 集电极峰值电流试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.2.4 的规定。

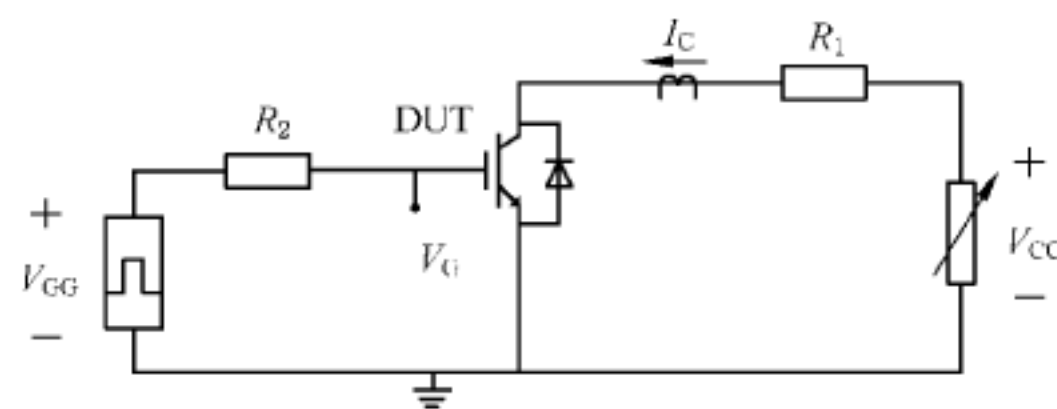
5.2.6 通态过载电流试验

5.2.6.1 试验目的

在规定条件下,检验 IGBT 的集电极过电流能力不低于通态过载电流额定值  $I_{(OV)}$ 。

5.2.6.2 试验电路

试验电路和波形分别如图 2 和图 3 所示。



说明:

DUT —— 试品;

$I_C$  —— 集电极电流;

$R_1$  —— 电路保护电阻器;

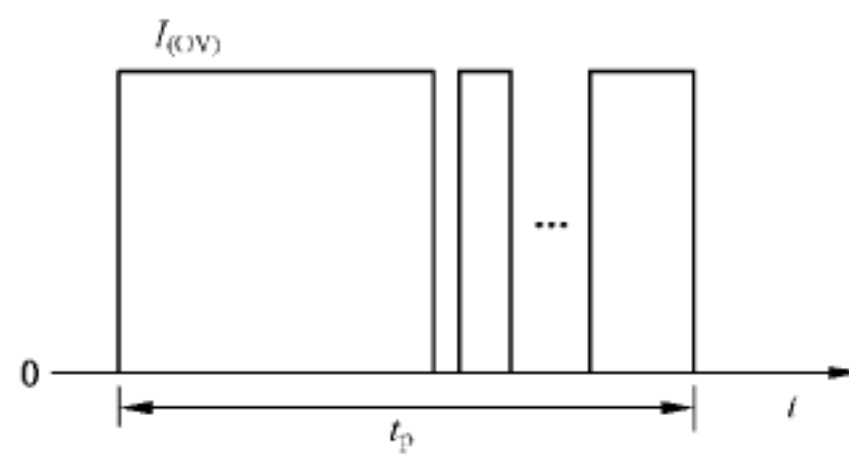
$R_2$  —— 栅极电阻器;

$V_{CC}$  —— 电压源电压;

$V_G$  —— 栅极电压;

$V_{GG}$  —— 栅极脉冲电压。

图 2 IGBT 通态过载电流试验电路



说明:

$I_{(OV)}$  —— 通态过载电流;

$t_p$  —— 脉冲宽度。

图 3 IGBT 通态过载电流波形

5.2.6.3 试验程序

试验程序如下:

- a) 设定管壳温度和栅极-发射极电压为规定值。增加电压源电压  $V_{CC}$  使集电极电流  $I_C$  达到额定值  $I_{(OV)}$ ;

b) 在规定的开关时刻,施加规定的开关次数。

试验中,监测  $V_{CE}$  和  $I_C$ ,DUT 应关断  $I_{(OV)}$  且集电极-发射极电压不超过  $V_{CES}$  的额定值,则通态过载电流能力得到验证。

#### 5.2.6.4 规定条件

应规定的条件如下:

- 管壳温度  $T_c$ ;
- 通态过载电流  $I_{(OV)}$ ;
- 栅极-发射极电压(脉冲宽度  $t_p$ 、开关次数和开关时刻);
- 栅极电阻器  $R_2$  的电阻值。

#### 5.2.7 短路安全工作区试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.2.5 的规定。

#### 5.2.8 反偏安全工作区试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.2.6 的规定。

#### 5.2.9 集电极-发射极饱和电压试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.2 的规定。

#### 5.2.10 栅极-发射极阈值电压试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.3 的规定。

#### 5.2.11 集电极截止电流试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.4 的规定。

#### 5.2.12 栅极漏电流试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.5 的规定。

#### 5.2.13 输入电容试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.6 的规定。

#### 5.2.14 输出电容试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.7 的规定。

#### 5.2.15 开通期间的各时间间隔和开通能量试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.11 的规定。

#### 5.2.16 关断期间的各时间间隔和关断能量试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.12 的规定。

#### 5.2.17 结-壳热阻试验

按 GB/T 29332—2012 中 6.3.13 的规定。

5.2.18 高温阻断试验

按 GB/T 29332—2012 中 7.2.5.1 的规定。

5.2.19 高温栅极偏置试验

按 GB/T 29332—2012 中 7.2.5.2 的规定。

5.2.20 间歇工作寿命(负载循环)试验

按 GB/T 29332—2012 中 7.2.5.3 的规定。

5.2.21 正向电压试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.1.2 的规定。

5.2.22 反向恢复峰值电流试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.1.4 的规定。

5.2.23 恢复电荷和反向恢复时间试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.1.5 的规定。

5.2.24 正向浪涌电流试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.3.1 的规定。

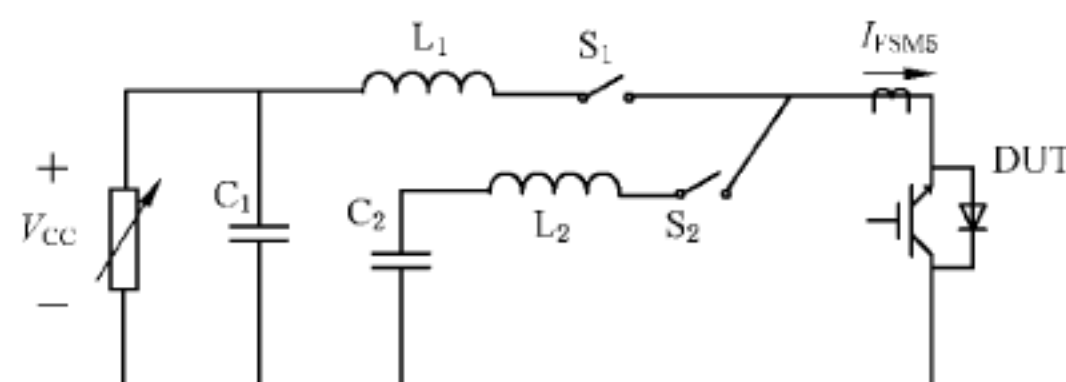
5.2.25 五周波正向浪涌电流试验

5.2.25.1 试验目的

在规定条件下,检验二极管的五周波正向浪涌电流额定值。

5.2.25.2 试验电路

试验电路如图 4 所示。



说明:

- C<sub>1</sub> —— 储能电容器;
- C<sub>2</sub> —— 储能电容器;
- DUT —— 试品;
- I<sub>FSM5</sub> —— 二极管五周波正向浪涌电流;
- L<sub>1</sub> —— 电抗器;
- L<sub>2</sub> —— 电抗器;
- S<sub>1</sub> —— 电子式功率开关;
- S<sub>2</sub> —— 晶闸管或其他电子式功率开关;
- V<sub>CC</sub> —— 电压源电压。

图 4 二极管五周波正向浪涌电流试验电路



### 5.2.25.3 试验程序

试验程序如下：

- a) 设定管壳温度为规定值。调整电压源电压  $V_{CC}$ ，使五周波正向浪涌电流到规定值；
  - b) 闭合开关  $S_1$  和  $S_2$ ，对试品 DUT 中的二极管施加规定的五周波正向浪涌电流。
- 试验后，通过测量规定的限值，得到二极管承受五周波正向浪涌电流能力的验证。

### 5.2.25.4 规定条件

应规定的条件如下：

- 管壳温度  $T_c$ ；
- 五周波正向浪涌电流值  $I_{FSM5}$ ；
- 脉冲宽度  $t_p$ ；
- 试验后的测量限值。

### 5.2.26 热阻和瞬态热阻抗试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.2.2 的规定。

### 5.2.27 热循环负载试验

按 GB/T 4023—2015 中 7.4.6 的规定。

### 5.2.28 接线端-外壳间绝缘电压试验

按 IEC 60747-15:2010 中 6.1 的规定。

### 5.2.29 管壳不破裂试验(可选试验)

按 GB/T 29332—2012 中附录 D 的规定。

## 6 标志和订货单

### 6.1 标志

#### 6.1.1 产品上的标志

产品上的标志包括：

- a) 产品型号；
- b) 端子识别标志；
- c) 制造商名称或商标；
- d) 产品批号和编号。

#### 6.1.2 包装盒上的标志

包装盒上的标志包括：

- a) 产品型号；
- b) 制造商名称或商标；
- c) 产品批号和编号；

d) 防雨标志。

## 6.2 订货单

订货单上应写明产品型号和其他必要的内容。

---



中华人民共和国  
国家标准  
柔性直流输电用电力电子器件技术规范  
GB/T 37660—2019

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2019年5月第一版

\*

书号: 155066·1-62790

版权专有 侵权必究



GB/T 37660—2019