ICS 31.080.10
K 46

中华人民共和国国家标准

GB/T 4023—2015/IEC 60747-2:2000
代替 GB/T 4023—1997

半导体器件　分立器件和集成电路
第 2 部分:整流二极管

Semiconductor devices—Discrete devices and integrated circuits—
Part 2: Rectifier diodes

(IEC 60747-2:2000,IDT)

2015-12-31 发布　　2017-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅶ
引言 …… Ⅸ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
3.1　一般术语 …… 1
3.2　额定值和特性的术语:电压 …… 2
3.3　额定值和特性的术语:电流 …… 3
3.4　额定值和特性的术语:耗散功率 …… 4
3.5　额定值和特性的术语:其他特性 …… 5
4　文字符号 …… 7
4.1　概述 …… 7
4.2　补充的通用下标 …… 7
4.2.1　电流、电压和功率 …… 8
4.2.2　电参数 …… 8
4.3　文字符号表 …… 8
4.3.1　电压(参见图4、图5) …… 8
4.3.2　电流(参见图6) …… 9
4.3.3　功率 …… 10
4.3.4　开关 …… 10
5　基本额定值和特性 …… 10
5.1　概述 …… 10
5.1.1　适用范围 …… 10
5.1.2　额定方法 …… 10
5.1.3　推荐温度 …… 10
5.2　额定条件 …… 11
5.2.1　环境额定的整流二极管 …… 11
5.2.2　管壳额定的整流二极管 …… 11
5.3　电压和电流的额定值(极限值) …… 11
5.3.1　反向不重复峰值电压(V_{RSM}) …… 11
5.3.2　反向重复峰值电压(V_{RRM}) …… 11

学兔兔 www.bzfxw.com

5.3.3 反向工作峰值电压(V_{RWM}) …… 11
5.3.4 反向直流电压(V_R)(适用时) …… 11
5.3.5 正向平均电流($I_{F(AV)}$) …… 11
5.3.6 正向重复峰值电流(I_{FRM})(适用时)(特别适用于快开关二极管) …… 11
5.3.7 正向过载电流($I_{(OV)}$) …… 12
5.3.8 正向浪涌电流(I_{FSM}) …… 12
5.3.9 正向直流电流(I_F) …… 12
5.3.10 管壳不破裂峰值电流(I_{RSMC}) …… 13
5.4 频率额定值(极限值) …… 13
5.5 耗散功率额定值(极限值) …… 13
5.5.1 反向浪涌耗散功率(雪崩整流二极管和可控雪崩整流二极管的) …… 13
5.5.2 反向重复峰值耗散功率(可控雪崩整流二极管的) …… 13
5.5.3 反向平均耗散功率(可控雪崩整流二极管的) …… 13
5.6 温度额定值(极限值) …… 13
5.6.1 冷却流体的温度或基准点的温度(对于环境额定的或管壳额定的整流二极管) …… 13
5.6.2 贮存温度(T_{stg}) …… 13
5.6.3 等效结温(T_j)(适用时) …… 13
5.7 电特性 …… 13
5.7.1 正向特性(适用时) …… 13
5.7.2 正向电压(在热平衡条件下) …… 14
5.7.3 击穿电压($V_{(BR)}$)(雪崩整流二极管的,用于不重复的情况) …… 14
5.7.4 反向重复峰值电流(I_{RRM}) …… 14
5.7.5 总耗散功率(P_{tot}) …… 14
5.7.6 一个正弦半波正向电流脉冲的最大总能量(适用时)(特别适用于快开关二极管) …… 14
5.7.7 恢复电荷(Q_r)(适用时),见图 9 …… 15
5.7.8 反向恢复峰值电流(i_{RM})(适用时),见图 9 …… 15
5.7.9 反向恢复时间(t_{rr})(适用时),见图 9 …… 15
5.7.10 正向恢复时间(适用时) …… 15
5.7.11 正向恢复峰值电压(V_{FRM})(适用时) …… 15
5.7.12 (反向恢复)软[度]因子(F_{RRS})(适用时) …… 16
5.8 热特性(适用时) …… 16
5.9 机械特性和其他数据 …… 16
5.10 应用数据 …… 16
5.10.1 稳态运行(包括过载) …… 16
5.10.2 瞬态条件 …… 17
6 型式试验和常规试验的要求,整流二极管的标志 …… 17
6.1 型式试验 …… 17

学兔兔 www.bzfxw.com

6.2 常规试验 …… 17
6.3 测量和试验方法 …… 18
6.4 整流二极管的标志 …… 18
7 测量和试验方法 …… 18
7.1 电特性的测量方法 …… 18
7.1.1 一般注意事项 …… 18
7.1.2 正向电压 …… 18
7.1.3 雪崩和可控雪崩整流二极管的击穿电压($V_{(BR)}$) …… 20
7.1.4 反向电流 …… 21
7.1.5 恢复电荷和反向恢复时间(Q_r,t_{rr}) …… 24
7.1.6 正向恢复时间和正向恢复峰值电压(t_{fr},V_{FRM}) …… 27
7.2 热特性的测量方法 …… 28
7.2.1 基准点温度 …… 28
7.2.2 热阻与瞬态热阻抗 …… 28
7.3 额定值(极限值)的检验方法 …… 30
7.3.1 正向浪涌电流(I_{FSM}) …… 30
7.3.2 反向不重复峰值电压(V_{RSM}) …… 32
7.3.3 雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率(重复或不重复的)(P_{RRM},P_{RSM}) …… 32
7.3.4 管壳不破裂峰值电流 …… 36
7.4 电耐久性试验 …… 38
7.4.1 耐久性试验表 …… 38
7.4.2 耐久性试验条件 …… 38
7.4.3 接收试验的失效判据和判定失效的特性 …… 38
7.4.4 可靠性试验的判定失效的特性和失效判据 …… 38
7.4.5 试验失误时的程序 …… 38
7.4.6 循环负载试验 …… 38
附录 A(资料性附录) 随时间变化负载温升的计算 …… 40

图 1 正向恢复期间的电压波形 …… 5
图 2 反向恢复期间的电流波形 …… 6
图 3 恢复电荷 …… 7
图 4 反向电压额定值 …… 8
图 5 正向特性 …… 9
图 6 正向电流额定值 …… 9
图 7 正向重复峰值电流(I_{FRM})示例 …… 12
图 8 一个正弦半波电流脉冲的最大总能量与正向电流值和脉冲持续时间的关系

学兔兔 www.bzfxw.com

（参变量：以焦尔为单位的脉冲能量） …… 14
图 9　恢复电荷 Q_r，反向恢复峰值电流 i_{RM}，反向恢复时间 t_{rr}（理想特性曲线） …… 15
图 10　正向电压的测试电路（直流法） …… 19
图 11　正向电压的测试电路（示波器法） …… 19
图 12　正向电压的测试电路（脉冲法） …… 19
图 13　正向平均电压的测试电路 …… 20
图 14　击穿电压的测试电路 …… 21
图 15　反向电流的测试电路（直流法） …… 21
图 16　反向电流的测试电路（示波器法） …… 22
图 17　反向峰值电流的测试电路 …… 22
图 18　反向峰值电流的测试电路（电流加热法） …… 23
图 19　Q_r 和 t_{rr} 的测试电路（正弦半波法） …… 24
图 20　通过二极管 D 的电流波形（正弦半波法） …… 24
图 21　Q_r 和 t_{rr} 的测试电路（矩形波法） …… 25
图 22　通过二极管 D 的电流波形（矩形波法） …… 26
图 23　t_{fr} 和 V_{FRM} 的测试电路 …… 27
图 24　测量 t_{fr} 和 V_{FRM} 的电流和电压波形 …… 27
图 25　热阻的测试电路 …… 29
图 26　瞬态热阻抗的测试电路 …… 30
图 27　浪涌电流的测试电路 …… 31
图 28　反向不重复峰值电压的测试电路 …… 32
图 29　雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路（反向电流三角波法） …… 33
图 30　反向电流波形（三角波法） …… 33
图 31　雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路（反向电流正弦波法） …… 34
图 32　反向电流波形（正弦波法） …… 34
图 33　雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路（反向电流矩形波法） …… 35
图 34　反向电流波形（矩形波法） …… 35
图 35　反向功率 P_{RSM} 与击穿电压的关系 …… 36
图 36　管壳不破裂峰值电流的测试电路 …… 37
图 37　通过受试器件的反向电流 i_R 波形 …… 37
图 38　热循环负载试验的电路和波形 …… 38
图 A.1　非矩形脉冲的阶梯形近似 …… 40
图 A.2　半导体器件内产生耗散功率 P、持续时间为 t_1 的矩形脉冲 …… 40
图 A.3　瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 与时间的关系 …… 41
图 A.4　三个矩形脉冲单序列 …… 41
图 A.5　相同脉冲的周期序列 …… 42
图 A.6　每组两个不同脉冲的周期序列 …… 43

学兔兔 www.bzfxw.com

表 1　整流二极管的型式试验和常规试验的最少试验项目 …… 17
表 2　耐久性试验后,接收时判定失效的特性 …… 39
表 3　耐久性试验条件 …… 39
表 A.1　几种典型负载时等效结温升的计算公式 …… 45

学兔兔 www.bzfxw.com

学兔兔 www.bzfxw.com

前　　言

《半导体器件　分立器件》系列国家标准的预计结构如下：

——第 1 部分：总则；

——第 2 部分：整流二极管；

——第 3 部分：信号(包括开关)和调整二极管；

——第 4 部分：微波器件；

——第 4-1 部分：微波二极管和晶体管　微波场效应晶体管详细规范；

——第 5-1 部分：光电子器件　总则；

——第 5-2 部分：光电子器件　基本额定值和特性；

——第 5-3 部分：光电子器件　测试方法；

——第 5-4 部分：光电子器件　半导体激光器；

——第 5-5 部分：光电子器件　光电耦合器；

——第 6 部分：晶闸管；

——第 7 部分：双极型晶体管；

——第 8 部分：场效应晶体管；

——第 9 部分：绝缘栅双极晶体管；

——第 10 部分：分立器件和集成电路总规范；

——第 11 部分：分立器件分规范；

——第 14-1 部分：半导体传感器　总则和分类；

——第 14-2 部分：半导体传感器　霍尔元件；

——第 14-3 部分：半导体传感器　压力传感器；

——第 14-4 部分：半导体传感器　半导体加速度计；

——第 14-5 部分：半导体传感器　PN 结半导体温度传感器；

——第 15 部分：绝缘功率半导体器件；

——第 16-1 部分：微波集成电路　放大器；

——第 16-2 部分：微波集成电路　频率预计数器；

——第 16-3 部分：微波集成电路　频率转换器；

——第 16-4 部分：微波集成电路　开关；

——第 17 部分：基本绝缘和加强绝缘的磁性和电容性耦合。

本部分为《半导体器件　分立器件》系列国家标准的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 4023—1997《半导体器件　分立器件和集成电路　第 2 部分：整流二极管》。

本部分与 GB/T 4023—1997 相比主要变化如下：

——编写规则和采用 IEC 标准的版本、与其一致性程度不同：GB/T 4023—1997 是按 GB/T 1.1—1993，等效采用 IEC 747-2：1983 和 1992 年、1993 年的两个修订件；本部分是按 GB/T 1.1—2009 和 GB/T 20000.2—2009，等同采用 IEC 60747-2：2000。

——内容结构编排不同：GB/T 4023—1997 采用篇(章)、节、条、项编号，“引言”属正文并编章条号；本部分采用章、条、项编号，“引言”在正文前单独为一页，不编章条号。

——增加了“管壳不破裂峰值电流”的文字符号“I_{RSMC}”，并将其对应的“管壳不破裂 I^2t”中的 I^2t

学兔兔 www.bzfxw.com

改为 I_{RC}^2t，同时将“管壳不破裂 I_{RC}^2t”由耗散功率术语条移至电流术语条。

——增加了“(反向恢复)软[度]因子”术语、定义、文字符号及其特性值的条件。

——增加了“正向恢复峰值电压”特性值的条件。

——文字符号章增加了开关特性的文字符号 11 个和电流的文字符号 4 个(I_{FAV}、I_{FRMS}、I_{RM}、I_{RSMC})，删除了 $I_{R(AV)}$。

——增加了“型式试验和常规试验的要求、整流二极管的标志”一章内容。

——删除了“反向重复峰值电压”的另一名称“最高反向重复电压”及相关的“注”。

——删除了附录 B“瞬态热阻抗测试方法(快速测试方法)”。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60747-2：2000《半导体器件　分立器件和集成电路　第 2 部分：整流二极管》(英文版)。

本部分做了下列编辑性修改和勘误：

——增加了“前言”，删除了 IEC 标准的“前言”；

——“IEC 60747 的本部分”“本出版物”和“本国际标准”均改为“本部分”；

——根据标准条文中的实际引用情况，增加了 GB/T 2900.66—2004《电工术语　半导体器件和集成电路》作为规范性引用文件；

——将用于电流、电压的修饰词“连续(直流)”改为“直流”；

——将表示温度的文字符号“T”和“θ”两种字母统一为“T”，表示温度的文字符号下标 amb、case、vj、ref 分别改为 a、c、j、r；

——用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”；

——对公式统一编号；

——将“正向(不重复)浪涌电流”统一为“正向浪涌电流”，与第 3 章中一致；

——将 5.7.4 中“反向重复峰值电流”的文字符号 I_{RM} 勘误为 I_{RRM}；

——删除 5.8.1(系 5.8 中下一层次的孤条)的编号，相应的内容直接归入 5.8；

——将式(A.29)中符号 t_2 的释文“较高频率的重复率”勘误为“较高频率的重复率的倒数”。

本部分由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本部分由全国半导体器件标准化技术委员会(SAC/TC 78)归口。

本部分起草单位：西安电力电子技术研究所、国营第八七三厂、湖北台基半导体股份有限公司、株洲南车时代电气股份有限公司电力电子事业部、浙江硅都电力电子有限公司。

本部分主要起草人：秦贤满、邹盛琳、颜家圣、刘国友、沈首良。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB 4023—1983、GB 4023—1986、GB/T 4023—1997。

引　言

本部分与 GB/T 17573—1998《半导体器件　分立器件和集成电路　第 1 部分:总则》一起使用。GB/T 17573 提供了下列有关半导体器件的基本信息:

——术语;

——文字符号;

——基本额定值和特性;

——测试方法;

——接收和可靠性。

半导体器件　分立器件和集成电路
第2部分:整流二极管

1　范围

本部分给出下列各类或各分类器件的标准:

整流二极管包括:

——雪崩整流二极管;

——可控雪崩整流二极管;

——快开关整流二极管。

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 2900.66—2004　电工术语　半导体器件和集成电路(IEC 60050-521:2002,IDT)

GB/T 17573—1998　半导体器件　分立器件和集成电路　第1部分:总则(idt IEC 60747-1:1983)

3　术语和定义

GB/T 17573—1998和GB/T 2900.66—2004界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1　一般术语

3.1.1

正向　forward direction

直流电流沿半导体二极管低阻流动的方向。

3.1.2

反向　reverse direction

直流电流沿半导体二极管高阻流动的方向。

3.1.3

阳极端(半导体整流二极管的或整流堆的)　anode terminal(of a semiconductor rectifier diode or rectifier stack)

正向电流由外部电路流入的端。

3.1.4

阴极端(半导体整流二极管的或整流堆的)　cathode terminal(of a semiconductor rectifier diode or rectifier stack)

正向电流向外部电路流出的端。

3.1.5

整流堆臂　rectifier stack arm

以两个电路端为界的那部分整流堆,它具有基本上只在一个方向传导电流的特性。

注:整流堆臂可含有一个或若干个串联或并联或串并联的整流二极管,并作为一个整体工作。这就意味着:整流堆臂可以是整流堆的一部分或整流堆的全部。

3.2 额定值和特性的术语:电压

注:当文字符号有几种不同的形式时,则给出最普遍使用的形式(见第 4 章)。

3.2.1

正向电压 forward voltage

V_F

由正向电流的流动在两端间产生的电压。

3.2.2

门槛电压 threshold voltage

阈值电压 threshold voltage

$V_{(TO)}$

由正向特性近似直线与电压轴的交点确定的正向电压值。

3.2.3

正向恢复电压 forward recovery voltage

V_{FR}

从零电压或规定的反向电压向规定的正向电流瞬时切换后,在正向恢复时间期间出现的变化的电压。

3.2.4

反向直流电压 continuous(direct)reverse voltage

V_R

加在二极管上的恒值反向电压。

3.2.5

反向工作峰值电压 crest(peak)working reverse voltage

V_{RWM}

不包括所有的重复和不重复瞬态电压的最大瞬时值反向电压。

3.2.6

反向重复峰值电压 repetitive peak reverse voltage

V_{RRM}

包括所有的重复瞬态电压,但不包括所有的不重复瞬态电压的最大瞬时值反向电压。

3.2.7

反向不重复峰值电压 non-repetitive peak reverse voltage

反向瞬态峰值电压 peak transient reverse voltage

V_{RSM}

半导体整流二极管或整流堆臂两端出现的任何不重复最大瞬时值的瞬态反向电压。

注 1:应优先采用"反向不重复峰值电压"术语。

注 2:重复电压通常是电路的函数,并使器件耗散功率增加。不重复瞬态电压通常由外因引起,并假定其影响在下一次不重复瞬态电压来临之前已完全消失。

3.2.8

击穿电压 breakdown voltage

V_{BR}

在发生击穿的区域内的电压。

3.3 额定值和特性的术语:电流

3.3.1

正向电流 forward current

I_F

沿二极管低阻方向流动的电流。

3.3.2

正向平均电流 mean forward current

$I_{F(AV)}$

正向电流在一个周期内的平均值。

3.3.3

正向方均根电流 r.m.s. forward current

I_{FRMS}

正向电流在工作频率的一个完整周期的方均根值。

3.3.4

正向重复峰值电流 repetitive peak forward current

I_{FRM}

包括所有重复瞬态电流的正向峰值电流。

3.3.5

正向过载电流 overload forward current

$I_{(OV)}$

一种持续工作将使结温超过额定最高等效结温,而通过限制持续时间使结温不超过额定值的正向电流,这种正向电流和规定的正常正向电流波形基本相同而值较大。

注:根据应用需要,器件可频繁承受过载电流,但同时应承受正常工作电压。

3.3.6

正向浪涌电流 surge forward current

I_{FSM}

持续时间短并规定波形的正向脉冲电流。这种电流由电路异常情况(如故障)引起,导致结温超过或可能超过额定最高结温,但假定其极少发生,并在器件工作寿命期内具有限定的发生次数。

3.3.7

反向电流 reverse current

I_R

当施加规定的反向电压时,流过二极管的全部传导电流。

3.3.8

反向阻性电流 resistive reverse current

i_{rr}

不包括反向恢复电流(若有)的稳态那部分反向电流。

3.3.9

反向恢复电流 reverse recovery current

i_{RR}

在反向恢复时间出现的那部分反向电流。

3.3.10

I^2t 值　I^2t value

正向浪涌电流的平方对其持续时间的积分值。

3.3.11

管壳不破裂峰值电流　peak case non-rupture current

I_{RSMC}

为防止管壳爆裂或等离子束发射，在规定的电流、波形和时间的条件下，不应超过的反向峰值电流。

注：本定义意味着器件在承受管壳不破裂峰值电流时，如无等离子束发射，允许器件管壳上有细小裂纹，但管壳应不裂开，器件表面也不应有熔化或爆燃痕迹。

3.3.12

管壳不破裂 $I^2_{RC}t$　case non-rupture $I^2_{RC}t$

为防止管壳爆裂或等离子束发射，在规定的电流、波形和时间的条件下，不应超过的 $I^2_{RC}t$ 值。以式(1)表示：

$$I^2_{RC}t = \int_0^{t_w} i^2 \mathrm{d}t \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

t_w——反向电流脉冲持续时间。

注：本定义意味着器件在承受管壳不破裂 $I^2_{RC}t$ 时，如无等离子束发射，允许器件管壳上有细小裂纹，但管壳应不裂开，器件表面也不应有熔化或爆燃痕迹。

3.4　额定值和特性的术语：耗散功率

3.4.1

总耗散功率　total power dissipation

P_{tot}

正向电流和反向电流产生的耗散功率之和。

3.4.2

正向耗散功率　forward power dissipation

P_F

正向电流流动产生的耗散功率。

3.4.3

正向平均耗散功率　mean forward power dissipation

P_{FAV}

瞬时正向电压与瞬时正向电流的乘积在一个整周期内的平均值。

3.4.4

反向耗散功率　reverse power dissipation

P_R

反向电流流动产生的耗散功率。

3.4.5

反向浪涌耗散功率(雪崩和可控雪崩整流二极管的)　surge reverse power dissipation(of avalanche and controlled-avalanche rectifier diodes)

P_{RSM}

二极管反向工作时，由于浪涌的发生在二极管内产生的耗散功率。

3.4.6

开通耗散功率　turn-on dissipation

P_{Fon}

当二极管从反向电压向正向电流转换时，在反向电压和正向电流变化期间，二极管内的耗散功率。

3.4.7

关断耗散功率　turn-off dissipation

P_{RR}

当二极管从正向电流向反向电压转换时，在正向电流和反向电压变化期间，二极管内的耗散功率。

3.5　额定值和特性的术语：其他特性

3.5.1

正向特性近似直线　straight line approximation of the forward characteristic

正向特性曲线上两规定点相连接的直线，此直线用于近似表示正向电压-正向电流特性(见图 5)。

3.5.2

正向斜率电阻　forward slope resistance

r_T

由正向特性近似直线的斜率确定的电阻值(见图 5)。

3.5.3

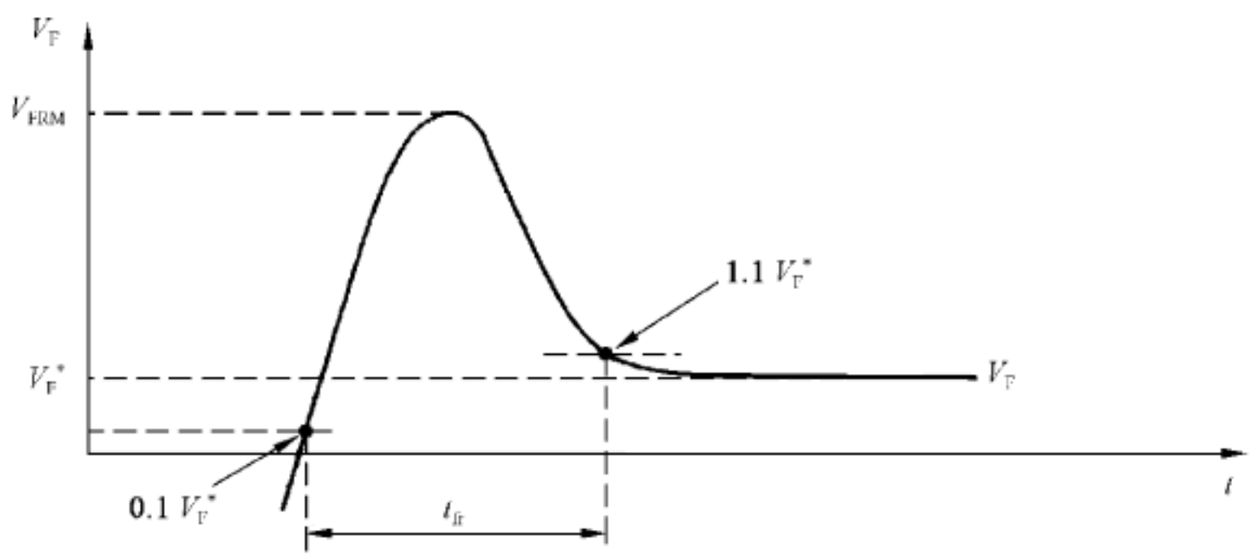
正向恢复时间　forward recovery time

t_{fr}

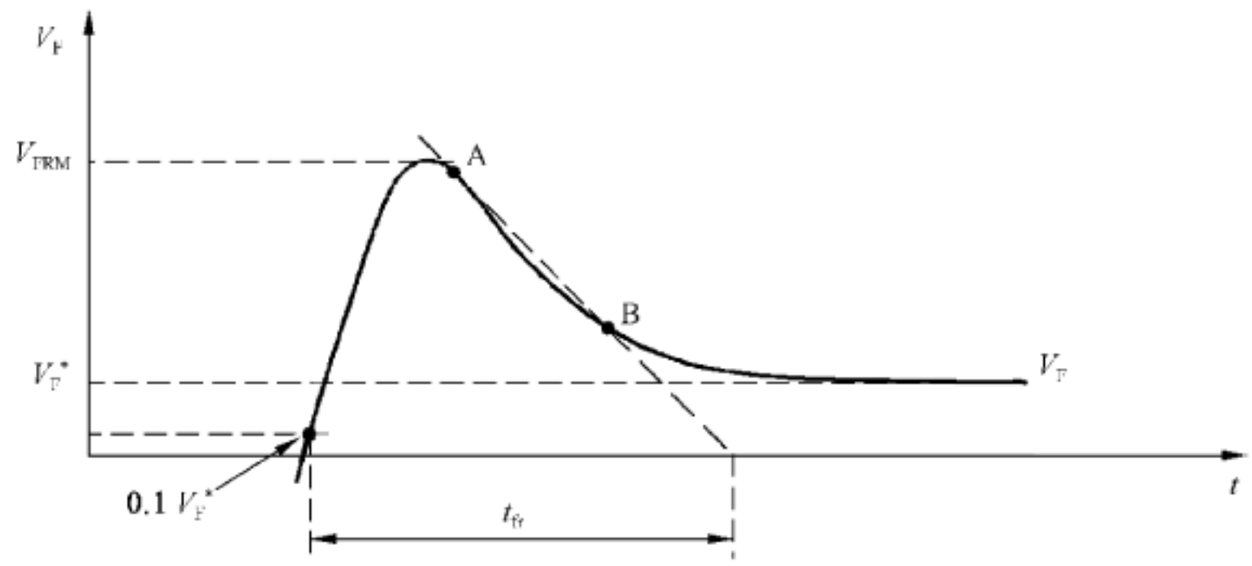
在紧接零电压或其他规定的反向电压条件下施加规定的阶跃正向电流时，正向电压上升到第一个规定值瞬间和从其峰值 V_{FRM} 下降到接近正向电压最终稳定值的第二个规定值瞬间[如图 1a)所示]的时间间隔，或第一个规定值瞬间和外推正向电压至零[如图 1b)所示]的时间间隔。

注 1：规范的方法Ⅰ：规定的第一个值和第二个值，通常采用的基准分别是最终稳定值[图 1a)和图 1b)中的 V_F^*]的 10%和 110%。

注 2：规范的方法Ⅱ：用规定的 A 点和 B 点连线延长实现外推，A 点和 B 点的值通常分别为 V_{FRM} 的 90%和 50%，一般如图 1b)所示。



a)　规范的方法Ⅰ



b)　规范的方法Ⅱ

图 1　正向恢复期间的电压波形

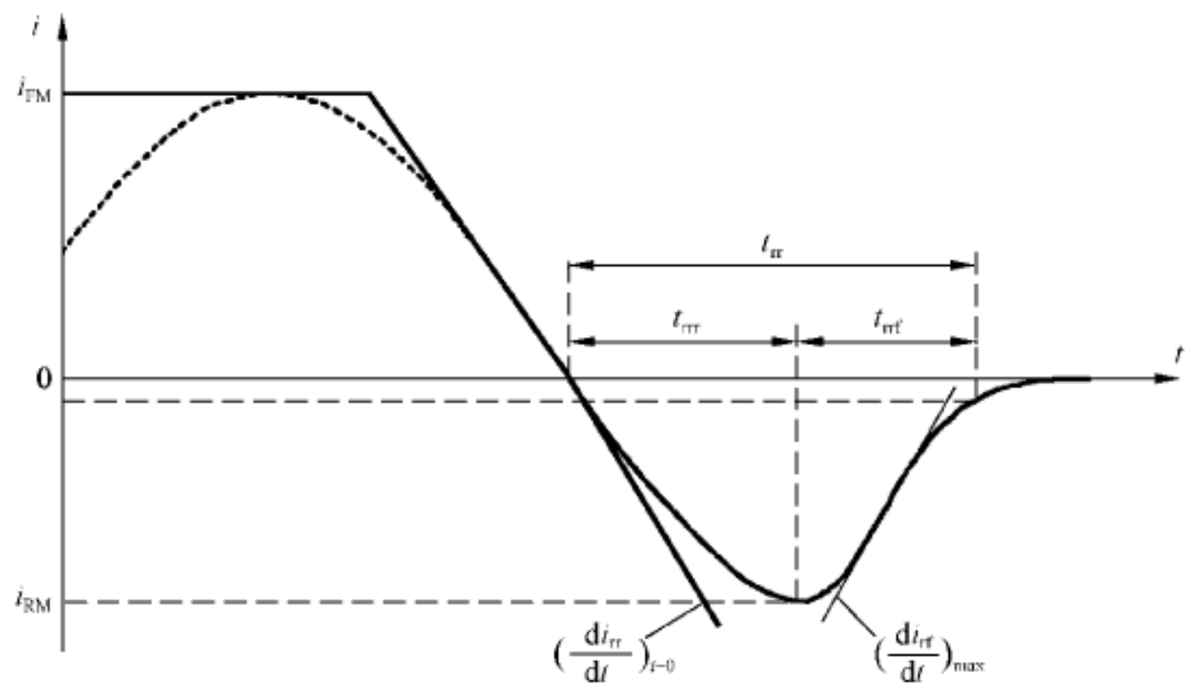
3.5.4

反向恢复时间　reverse recovery time

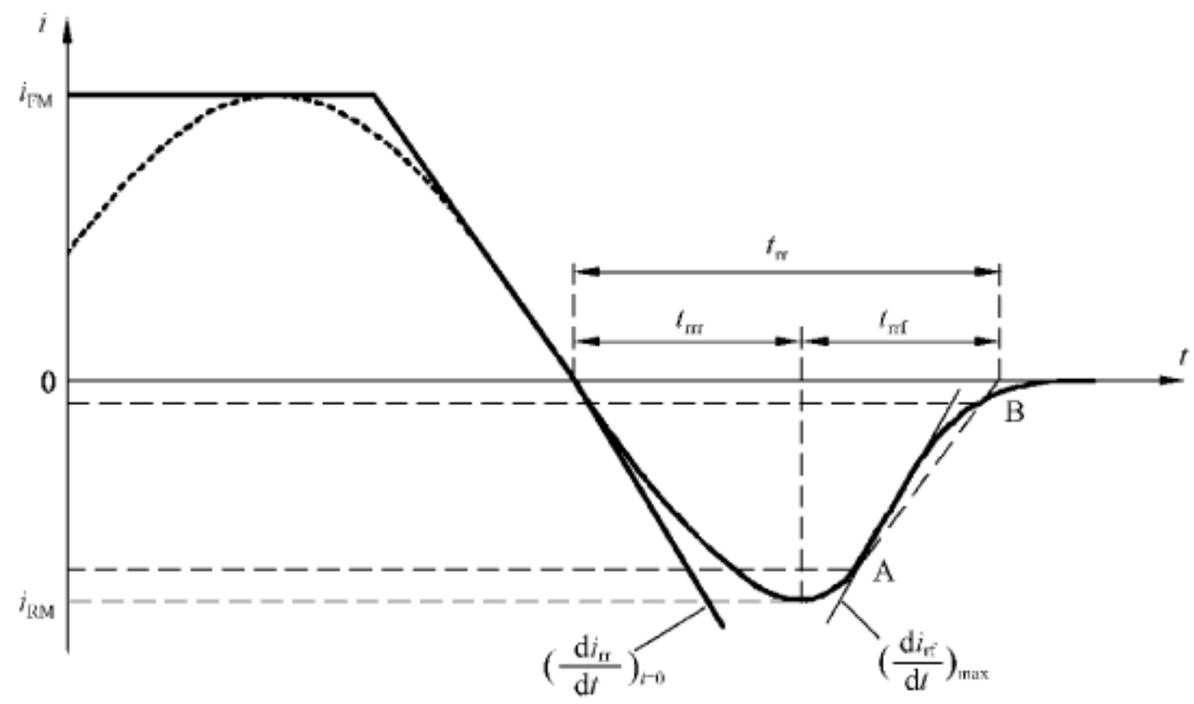
t_{rr}

当从正向到反向转换时，从电流过零瞬间起，至反向电流由峰值 I_{RM} 减小到规定低值瞬间[如图 2a)所示]或至反向电流外推的零点[如图 2b)所示]止的时间间隔。

注：用规定的 A 点和 B 点的连线延长实现外推[一般如图 2b)所示]。A 点值通常规定为 90% I_{RM}，但也可规定为 I_{RM}。



a)　规范采用的 I_{rr} 低值



b)　规范采用的 A 点和 B 点

图 2　反向恢复期间的电流波形

3.5.5

恢复电荷　recovered charge

Q_r；Q_{RR}

二极管从规定的正向电流条件向规定的反向条件切换后，反向电流对规定的时间积分得到的总恢复电荷。以式(2)给出：

$$Q_r = \int_0^{t_0+t_i} i_R \, dt \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：

t_0——电流过零瞬间；

t_i——规定的积分时间(见图 3)。

注：恢复电荷包括载流子贮存和耗尽层电容引起的两部分。

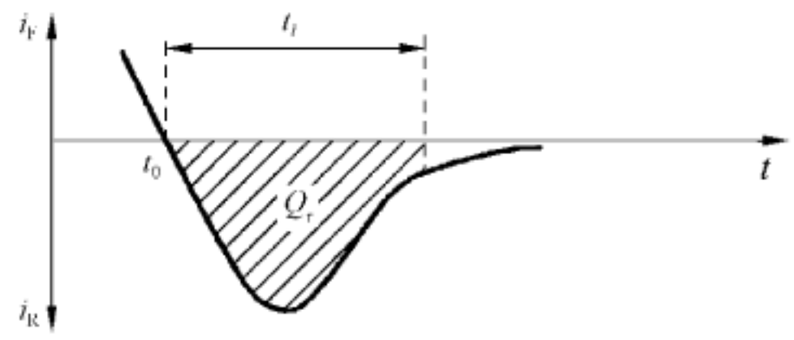


图 3　恢复电荷

3.5.6

反向恢复电流上升时间　reverse recovery current rise time

t_{rrr};t_a

由规定的正向电流向规定的反向电压瞬时切换后,从反向恢复时间始点起,至反向恢复电流达到峰值瞬间止的时间间隔。

注:文字符号 t_a 有时用到。

3.5.7

反向恢复电流下降时间　reverse recovery current fall time

t_{rrf};t_b

由规定的正向电流向规定的反向电压瞬时切换后,从反向恢复电流达到峰值瞬间起,至反向恢复时间终点止的时间间隔。

注:文字符号 t_b 有时用到。

3.5.8

上升时间电荷　rise time charge

Q_{RRR}

在反向恢复电流上升时间期间,二极管内恢复的这部分电荷。

3.5.9

下降时间电荷　fall time charge

Q_{RRF}

在反向恢复电流下降时间期间,二极管内恢复的这部分电荷。

注:时间间隔 t_{rrr}(3.5.6)和 t_{rrf}(3.5.7)是按两者之和等于反向恢复时间 t_{rr} 定义的,而恢复电荷(3.5.5)是针对积分时间 t_i 定义的,因此两部分电荷 Q_{RRR}(3.5.8)和 Q_{RRF}(3.5.9)之和不等于 Q_r,除非 t_{rr} 等于 t_i。

3.5.10

(反向恢复)软[度]因子　(reverse recovery) softness factor

F_{RRS}

反向恢复电流过零时的上升率与反向恢复电流最大下降率之比的绝对值,见图 2a)和图 2b)。以式(3)给出:

$$F_{RRS}=\frac{(\mathrm{d}i_{rr}/\mathrm{d}t)_{i=0}}{(\mathrm{d}i_{rf}/\mathrm{d}t)_{max}} \qquad \cdots\cdots(3)$$

4　文字符号

4.1　概述

GB/T 17573—1998 的第Ⅴ篇的一般规则部分适用。

4.2　补充的通用下标

除推荐 GB/T 17573—1998 的第Ⅴ篇给出的通用下标外,对于整流二极管,还推荐下列专用下标。

4.2.1 电流、电压和功率

(同时见 GB/T 17573—1998 的第Ⅴ篇的 2.2.1)

A,a ——阳极

K,k ——阴极

(TO)——门槛值

4.2.2 电参数

(同时见 GB/T 17573—1998 的第Ⅴ篇的 2.2.2)

T——斜率

4.3 文字符号表

下列表中的文字符号推荐用于整流二极管,这些文字符号按一般规则编制。

4.3.1 电压(参见图 4、图 5)

名　　称	文字符号	备注
正向直流电压	V_F	
正向峰值电压	V_{FM}	
正向平均电压	$V_{F(AV)}$	
反向直流电压	V_R	
反向工作峰值电压	V_{RWM}	
反向重复峰值电压	V_{RRM}	
反向不重复峰值电压(反向瞬态峰值电压)	V_{RSM}	
击穿电压	$V_{(BR)}$	
正向恢复电压	V_{FR}	
正向恢复峰值电压	V_{FRM}	

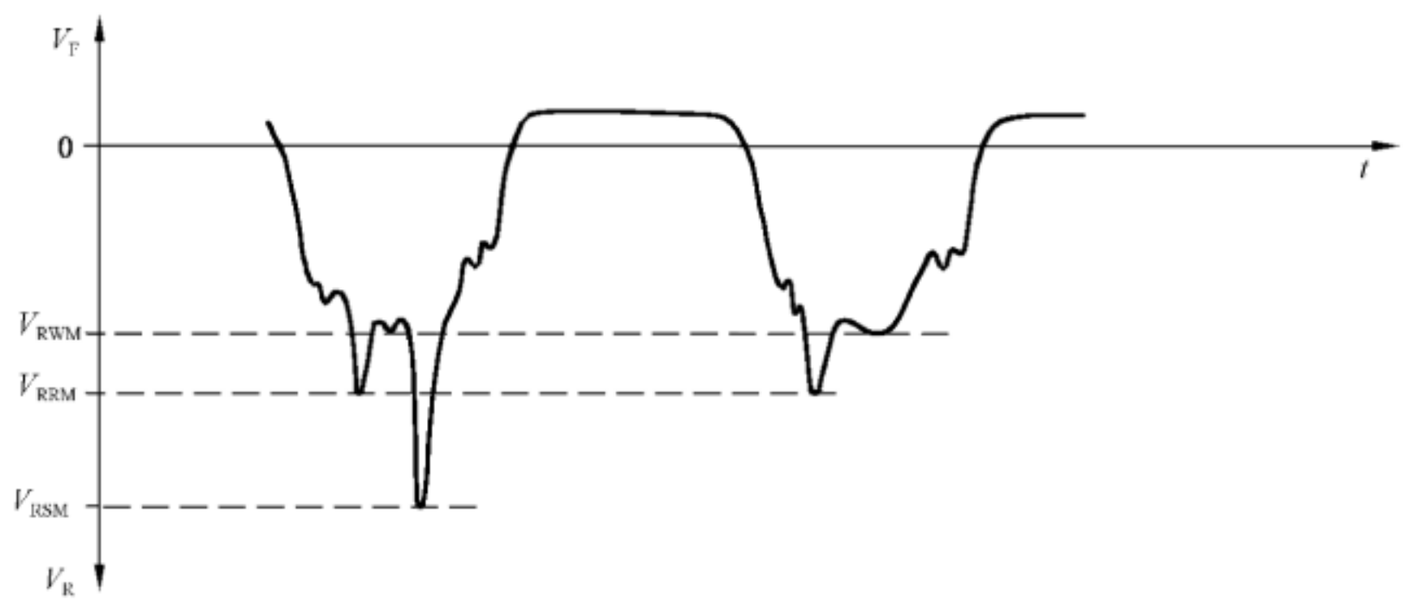
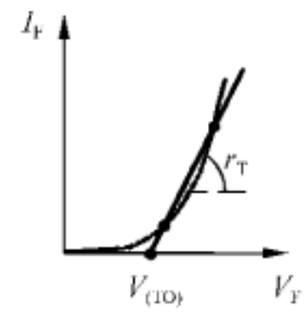


图 4　反向电压额定值

名　称	文字符号	备注
正向斜率电阻	r_T	 图 5　正向特性
门槛电压	$V_{(TO)}$	

4.3.2　电流(参见图 6)

名　　称	文字符号	备注
正向直流电流	I_F	
正向平均电流	I_{FAV}	
正向重复峰值电流	I_{FRM}	
正向方均根电流	I_{FRMS}	
正向过载电流	$I_{(OV)}$	
正向浪涌电流	I_{FSM}	
反向直流电流	I_R	
反向峰值电流	I_{RM}	
反向恢复电流	i_{RR}	
管壳不破裂峰值电流	I_{RSMC}	

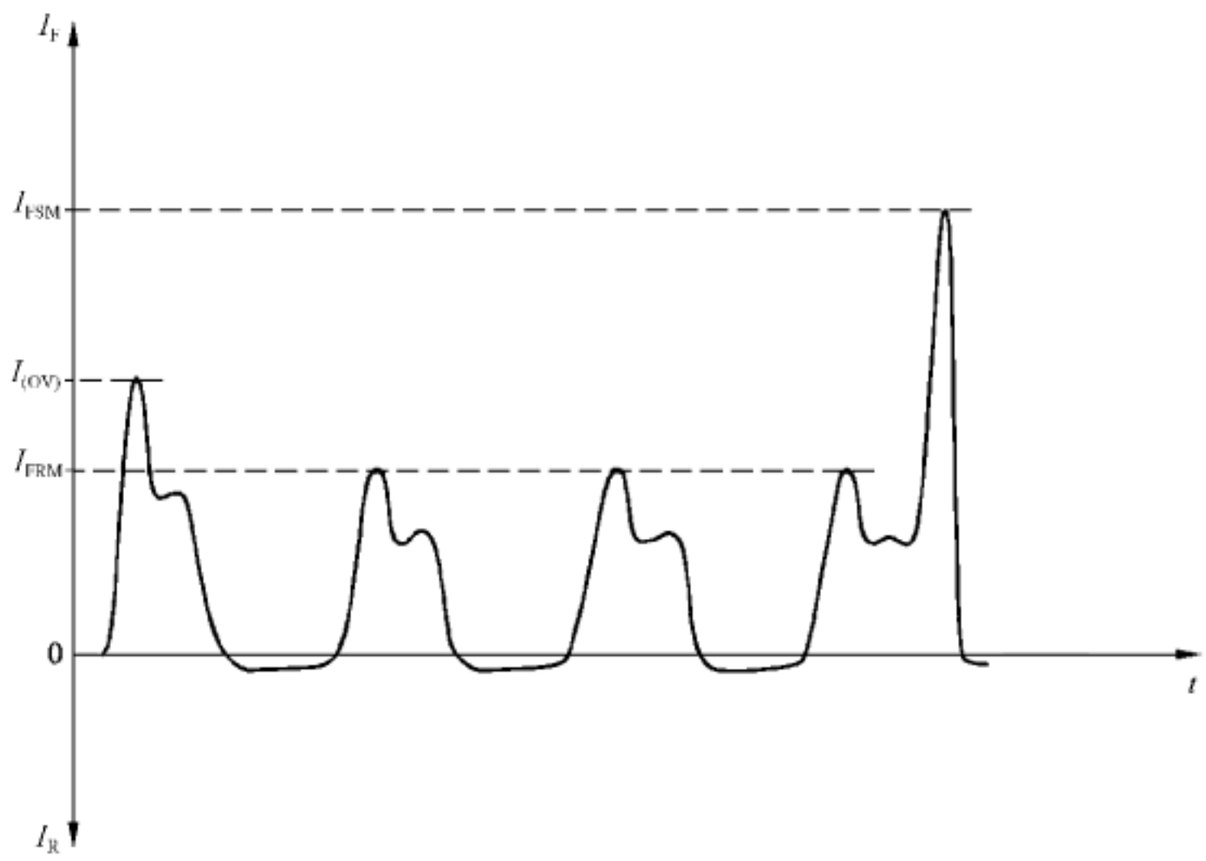


图 6　正向电流额定值

4.3.3 功率

名　　称	文字符号	备注
正向耗散功率	P_F	
反向耗散功率	P_R	
开通耗散功率： ——开通平均耗散功率 ——开通瞬时总耗散功率 ——开通峰值耗散功率	 $P_{FT(AV)}$ P_{FT} P_{FTM}	
关断耗散功率： ——关断平均耗散功率 ——关断瞬时总耗散功率 ——关断峰值耗散功率	 $P_{RQ(AV)}$ P_{RQ} P_{RQM}	

4.3.4 开关

名　　称	文字符号	备注
正向恢复时间	t_{fr}	
反向恢复时间	t_{rr}	
反向恢复电流上升时间	t_{rrr}、t_a	
反向恢复电流下降时间	t_{rrf}、t_b	
恢复电荷	Q_r、Q_{RR}	
上升时间电荷	Q_{RRR}	
下降时间电荷	Q_{RRF}	
(反向恢复)软[度]因子	F_{RRS}	

5 基本额定值和特性

5.1 概述

5.1.1 适用范围

本章给出整流二极管的标准，整流二极管包括：

——雪崩整流二极管；

——可控雪崩整流二极管；

——快开关整流二极管。

5.1.2 额定方法

应说明整流二极管是按环境额定或按管壳额定的器件。

5.1.3 推荐温度

很多额定值和特性都要求在 25 ℃和另一规定温度条件下给出。

除另有说明外，另一规定温度，制造厂应从 GB/T 17573—1998 所列温度中选取；此外，还可采用 −40 ℃ 和 35 ℃。

5.2 额定条件

应在下列一个或多个热条件下说明 5.3 中给出的额定值。

5.2.1 环境额定的整流二极管

5.2.1.1 自然对流

在 25 ℃和在一较高温度的条件下(见 5.1.3)。应规定冷却流体和压力(在气体的情况下)。空气压力至少应为 90 kPa(900 mbar)，这相当于海拔最高 1 000 m。

5.2.1.2 强迫循环

从推荐温度表(见 5.1.3)选取温度。应规定冷却流体的种类、压力和流量。

5.2.2 管壳额定的整流二极管

从推荐温度表(见 5.1.3)选取基准点温度。

注：基准点温度通常是管壳温度。对于小整流二极管，可规定一个端子的温度。

5.3 电压和电流的额定值(极限值)

下列额定值对于特定器件的整个工作条件范围应有效。

5.3.1 反向不重复峰值电压(V_{RSM})

正弦半波反向电压脉冲的最大值，须规定脉冲的持续时间。此持续时间应由下列值选取：10 ms、8.3 ms、1 ms 和 0.1 ms。

5.3.2 反向重复峰值电压(V_{RRM})

正弦半波反向重复电压脉冲的最大值，须规定脉冲的持续时间。此持续时间应由下列值选取：10 ms、8.3 ms、1 ms 和 0.1 ms。

5.3.3 反向工作峰值电压(V_{RWM})

在电源频率(通常为 50 Hz 或 60 Hz)条件下，正弦半波重复反向电压的最大值(持续时间：10 ms 或 8.3 ms)。

5.3.4 反向直流电压(V_R)(适用时)

最大值。

5.3.5 正向平均电流($I_{F(AV)}$)

在具有电阻性负载的单相半波电路的条件下，以最大值与环境温度或管壳温度的关系曲线表示。此外，还可给出其他一些电路条件的曲线。

注：额定正向平均电流是假定不存在过载情况下给出的。

5.3.6 正向重复峰值电流(I_{FRM})(适用时)(特别适用于快开关二极管)

在下列规定的条件下，以重复频率为参变量，用最大(重复峰值)正向电流值与正弦半波电流持续时

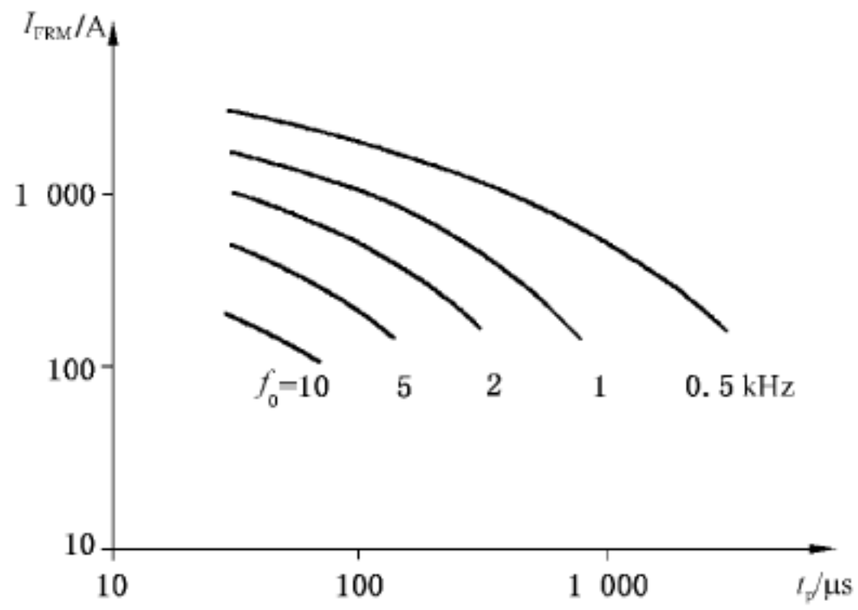
间的关系曲线表示：

——基准点温度；

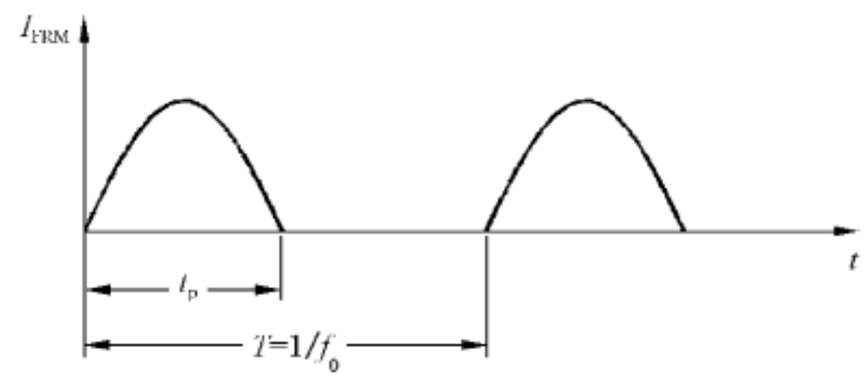
——反向电压；

——RC 阻尼网络，适用时。

图 7 给出一个示例，图 7b)为说明 t_p 而给出。



a） 最大正向峰值电流 I_{FRM} 与脉冲持续时间 t_p 的关系（参变量：重复频率 f_0）



b） 脉冲持续时间 t_p 和周期时间 T 的定义

图 7 正向重复峰值电流（I_{FRM}）示例

5.3.7 正向过载电流（$I_{(OV)}$）

本额定值适用时，应以规定的最高等效结温和最大瞬态热阻抗给出。此外，还可以用曲线图给出过载电流额定值。

5.3.8 正向浪涌电流（I_{FSM}）

本额定值应对应于最高等效结温的初始条件给出。此外，可给出对应于较低初始等效结温条件下的曲线。应给出下列时间期间的浪涌电流额定值：

a） 对于小于半个周期（50 Hz 或 60 Hz）但大于约 1 ms 的时间，以 $\int i^2 \mathrm{d}t$ 的最大额定值形式给出浪涌电流额定值。

还可以用曲线方式或规定值给出浪涌电流额定值。假定紧接浪涌电流后不施加反向电压。

b） 对于大于或等于半个周期而小于 15 个周期（50 Hz 或 60 Hz）的时间，以表示最大额定浪涌电流与时间的关系曲线给出浪涌电流额定值。最好以 80%最大反向重复峰值电压条件给出这些额定值。50%或 100%最大反向重复峰值电压条件下的浪涌电流可作为补充额定值给出。

c） 对于等于一个周期的时间，在不施加反向电压的条件下给出浪涌电流额定值。

5.3.9 正向直流电流（I_F）

最大值。

5.3.10 管壳不破裂峰值电流(I_{RSMC})

适用时,应按照在规定的三角形电流最大值、其上升率(优选 25 A/μs)、脉冲持续时间和管壳初始温度(优选 25 ℃)的条件下,规定"管壳不破裂峰值电流"极限值。

注:大型变流设备中使用的若干只并联的大电流整流二极管(平均电流约 1 000 A 及以上)是需要"管壳不破裂峰值电流"的,当一只整流二极管阻断反向电压失败时,会产生一个急剧上升、能使管壳破裂且在熔断器动作前损坏设备的短路大电流。

因此,该电流极限值的测定或验证需要大功率试验设备。试验本身的费用和试验中大量被损坏的样品费用是可观的,并在上述实际存在的危险情况中得到证明。

管壳不破裂峰值电流值,很大程度上取决于硅芯片上初始击穿的位置,如击穿发生在芯片边棱附近,其值通常是最小的。

5.4 频率额定值(极限值)

适用时,用于电压和电流额定值(见 5.3)的最高频率和(或)最低频率。

5.5 耗散功率额定值(极限值)

5.5.1 反向浪涌耗散功率(雪崩整流二极管和可控雪崩整流二极管的)

在最高等效结温条件下,以反向浪涌耗散功率额定值与浪涌持续时间的关系曲线表示。

其波形应从 7.3.3 选取。

5.5.2 反向重复峰值耗散功率(可控雪崩整流二极管的)

在规定的环境温度或基准点温度条件下的最大值(见 5.5.3.的注)。

其波形应从 7.3.3 选取。

5.5.3 反向平均耗散功率(可控雪崩整流二极管的)

在规定的环境温度或基准点温度条件下的最大值(见下面的注)。

注:这些反向耗散功率额定值假定正向耗散功率为零。当在应用中既产生正向耗散功率又产生反向耗散功率时,则应根据器件制造厂的应用说明给予降额。

5.6 温度额定值(极限值)

5.6.1 冷却流体的温度或基准点的温度(对于环境额定的或管壳额定的整流二极管)

最小值和最大值。

5.6.2 贮存温度(T_{stg})

最小值和最大值。

5.6.3 等效结温(T_j)(适用时)

最大值。

5.7 电特性

(除另有说明外,冷却流体温度或基准点温度为 25 ℃)

5.7.1 正向特性(适用时)

在 25 ℃和另一较高温度(优选最高等效结温)条件下,表示瞬时值正向电压与瞬时值正向电流(至

额定正向平均电流对应的峰值,见 5.3.5)的关系曲线。

5.7.2 正向电压(在热平衡条件下)

5.7.2.1 正向直流电压(V_F)

在额定正向直流电流时的最大值。

5.7.2.2 正向峰值电压(V_{FM})(适用时)

在 π 倍额定正向平均电流(见 5.3.5)的峰值电流时的最大值。

注:π 可取为 3。

5.7.3 击穿电压($V_{(BR)}$)(雪崩整流二极管的,用于不重复的情况)

在反向特性低动态阻抗区域中,与规定脉冲电流对应的最小值。

5.7.4 反向重复峰值电流(I_{RRM})

在额定反向重复峰值电压时的最大值,此外,适用时,还是在最高等效结温条件下的最大值。

5.7.5 总耗散功率(P_{tot})

仅适用于管壳额定的整流二极管,在等于 50%额定反向重复峰值电压的正弦波反向峰值电压条件下,用最大总耗散功率与正向平均电流的关系曲线表示。应给出在 5.3.5 中规定的各工作条件下的曲线。

5.7.6 一个正弦半波正向电流脉冲的最大总能量(适用时)(特别适用于快开关二极管)

在下列规定条件下,以总能量(正向的和反向的恢复能量)为参变量,最大正向(峰值)电流值与正弦半波电流脉冲持续时间的关系曲线表示:

a) 正向电压;

b) RC 阻尼网络(适用时)。

图 8 为一示例。

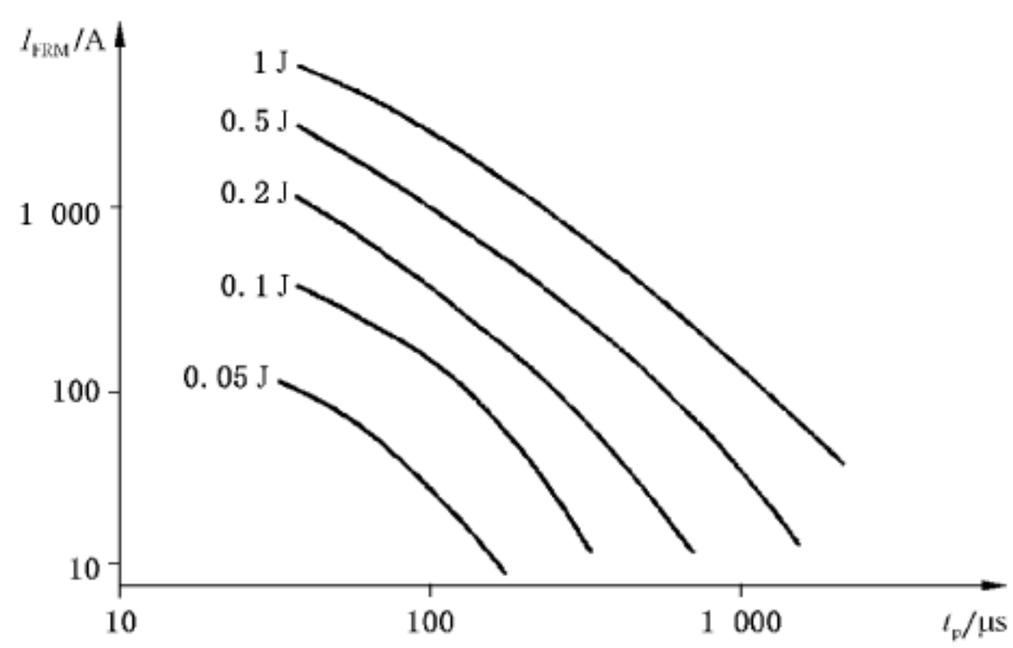


图 8 一个正弦半波电流脉冲的最大总能量与正向电流值和脉冲持续时间的关系
(参变量:以焦尔为单位的脉冲能量)

5.7.7 恢复电荷(Q_r)(适用时),见图 9

在下列规定条件下的最大值,或最大值和最小值:

a) 正向电流,优选等于 5.3.5 的最大值;

b) 正向电流下降率($-di/dt$);

c) 反向电压,优选等于 5.3.2 规定的反向重复峰值电压的 50%;

d) 环境温度或基准点温度等于正向峰值电流允许的最高温度。

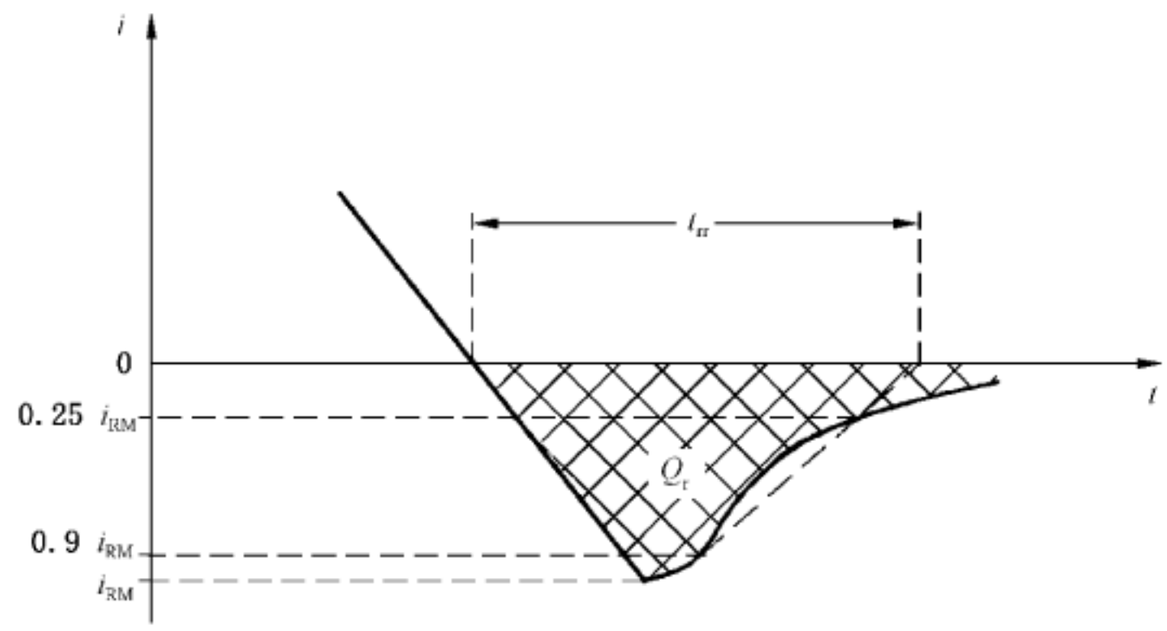


图 9 恢复电荷 Q_r,反向恢复峰值电流 i_{RM},反向恢复时间 t_{rr}(理想特性曲线)

5.7.8 反向恢复峰值电流(i_{RM})(适用时),见图 9

在 5.7.7 的 a)~d)规定条件下的最大值。

5.7.9 反向恢复时间(t_{rr})(适用时),见图 9

在 5.7.7 的 a)~d)规定条件下的最大值。

5.7.10 正向恢复时间(适用时)

在下列规定条件下的最大值[见图 1a)和图 1b)]:

a) 等效结温(T_j);

b) 正向峰值电流(I_{FM});

c) 正向电流脉冲上升时间(t_r),取 10%I_{FM}和 90%I_{FM}之间的时间;

d) 确定 t_{fr}起点的电压值,优选正向电压最终稳定值 V_F^* 的 10%;

e) 对于规范的方法Ⅰ:确定 t_{fr}终点的电压值,优选 110%V_F^*;

f) 对于规范的方法Ⅱ:确定外推用 A 点和 B 点的电压值,分别优选 90%V_{FRM}和 50%V_{FRM};

g) 反向电压(V_R),优选 $V_R=0$。

注 1:脉冲源的最低电压(开路)宜为 $3V_{FRM}$。

注 2:方法Ⅰ,V_{FRM}值优选可至约 10 V;方法Ⅱ,V_{FRM}采用相当大的值(至几百伏)。

5.7.11 正向恢复峰值电压(V_{FRM})(适用时)

在下列规定条件下的最大值:

a) 正向峰值电流(I_{FM});

b) 电流脉冲的上升时间(t_r),取 10%I_{FM}和 90%I_{FM}之间的时间[见图 1a)和图 1b)],另有规定除外;

c) 反向电压 $V_R=0$,另有规定除外;

d) 等效结温(T_j)。

注:对于小占空比的短脉冲,等效结温可认为等于环境温度或管壳温度。

5.7.12 (反向恢复)软[度]因子(F_{RRS})(适用时)

在下列规定条件下的最小值:

a) 转换前正向电流:小于10%的和200%的最大额定正向平均电流(见5.3.5)值;

b) 正向电流下降率($-di_F/dt$);

c) 反向电压(V_R),取5.3.2的额定最高反向重复峰值电压的50%,另有规定除外;

d) 包含重要寄生成分的RC阻尼网络(适用时);

e) 等效结温。

注1:通常在小正向电流时,软[度]因子是较小的。

注2:正向电流脉冲持续时间应足够长以确保载流子密度建立平衡。

5.8 热特性(适用时)

瞬态热阻抗[$Z_{th}(t)$]用最大瞬态热阻抗与时间的关系曲线表示,时间范围从稳态值到1 ms或更短的时间,曲线也可用数学关系式代替。

5.9 机械特性和其他数据

见GB/T 17573—1998第Ⅵ篇的第7章。

5.10 应用数据

在半导体整流二极管串联或并联应用时,不仅应考虑稳态运行的电压或电流分配,而且还应考虑换向期间的载流子贮存效应。

5.10.1 稳态运行(包括过载)

5.10.1.1 串联运行

为在串联联结中得到合适的电压分配,可采用下列一种或多种方法:

a) 并联电阻性分压器;

b) 并联电容性分压器;

c) 制造厂匹配好反向特性;

d) 变压器多重绕组(不适用于单相半波电路);

e) 安装在一个公共的散热器上,以使温度均匀。

应查阅制造厂提供的详细资料。

5.10.1.2 并联运行

为在并联联结中得到合适的电流分配,可采用下列一种或多种方法:

a) 制造厂匹配好正向特性;

b) 每只二极管上串联附加的电阻或电抗;

c) 平衡变压器或各变压器单独绕组;

d) 安装在一个公共的散热器上,以使温度均匀。

对于雪崩整流二极管,并联连接时的反向浪涌(不重复)耗散功率不一定增加;并应查阅制造厂提供的详细资料。

5.10.2 瞬态条件

5.10.2.1 由载流子贮存效应引起的瞬态过电压

由于载流子贮存效应，二极管电流可能在换向期间迅速变化，同时由于电路电感的存在，则可能产生振荡电压。这个瞬态电压连同施加电压往往会超过二极管的反向电压额定值。

附加的旁路电容使二极管恢复时间延长，并降低瞬态过电压。

应查阅制造厂提供的详细资料。

5.10.2.2 换向期间串联二极管的电压分配

串联连接二极管时，由于恢复时间的差异在换向期间可产生不等同的电压分配。将串联的每只二极管都并联一电容支路，可降低任何不均衡度。可选取 5.10.1.1 提及的电容器来达到此目的。

应查阅制造厂提供的详细资料。

6 型式试验和常规试验的要求，整流二极管的标志

6.1 型式试验

为确定在数据表中给出的电、热额定值（极限值）和特性，以及建立以后常规试验的各项试验的强度，对新产品应抽样进行型式试验。

为确认产品质量连续符合规定要求，从现行生产或交货中抽取样品重复进行某些或全部型式试验项目。

表 1 列出了整流二极管应实施的最少型式试验项目。一些型式试验是破坏性的。

6.2 常规试验

表 1 整流二极管的型式试验和常规试验的最少试验项目

试验名称	型式试验	常规试验
特性测量		
正向电压	×	×
其他正向特性	×	
反向电流	×	×
其他反向特性	×	
恢复电荷、反向恢复峰值电流	×[a]	×[b]
热阻和瞬态热阻抗	×	
额定值验证		
正向浪涌电流	×	
管壳不破裂峰值电流	×[a]	
耐久性试验		
高温交流反向偏置试验	×	
热循环负载试验	×	

[a] 仅对器件规定有最大值进行型式试验。

[b] 仅对器件规定有最大值和最小值进行常规试验。

为验证每个样品符合数据表中规定的额定值(极限值)和特性,一般是对现行生产或交货的产品在100%基础上进行常规试验。

常规试验可选取器件分组进行。

表1列出了整流二极管应实施的最少常规试验项目。

6.3 测量和试验方法

应符合第7章给出的测量和试验方法。

耐久性试验应符合7.4给出的方法。

6.4 整流二极管的标志

每只整流二极管应清晰而不易脱落地标志下列信息:

——制造厂名称或识别标志;

——制造厂或供货商给出的型号;

——可区分的阳极端和阴极端的标志。

7 测量和试验方法

7.1 电特性的测量方法

7.1.1 一般注意事项

7.1.1.1 直流测量的一般注意事项

对于整流二极管的正向特性测量,直流电源的质量是无关紧要的,只要峰-峰的纹波值小于10%即可。

对于反向特性测量,电压源峰-峰的纹波值不应超过1%,并应特别注意确保不因任何电压瞬变而超过整流二极管的电压额定值。

7.1.1.2 交流测量的一般注意事项

可在电源电路中接入二极管,以保护示波器内的放大器不受无用半周脉冲的影响。当测量小的反向电流时,有必要采取适当预防措施,例如变压器屏蔽和接地良好来避免干扰,还应注意避免杂散电容。

此外,应特别注意尽可能地降低残余电感,对大电流器件尤应如此。

7.1.1.3 温度条件

下述电特性的所有测量都应规定温度条件。

应在热平衡到达后进行测量。

7.1.2 正向电压

7.1.2.1 直流法

正向电压的基本测试电路示于图10。使规定的正向电流通过二极管,并在规定条件下测量二极管两端的正向电压降(V_F)。

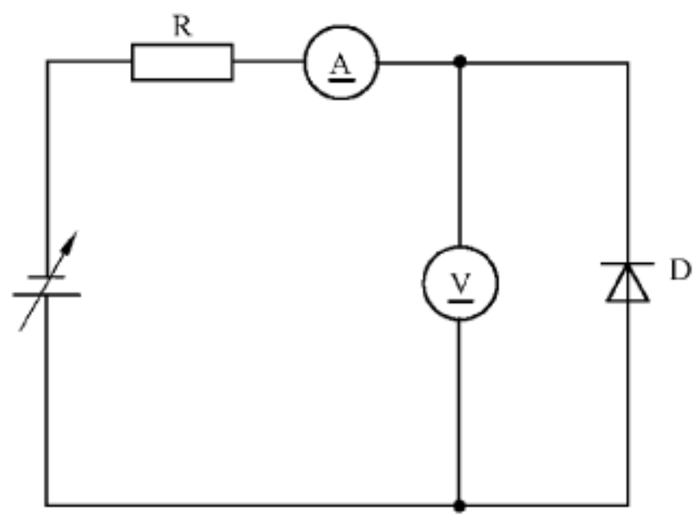
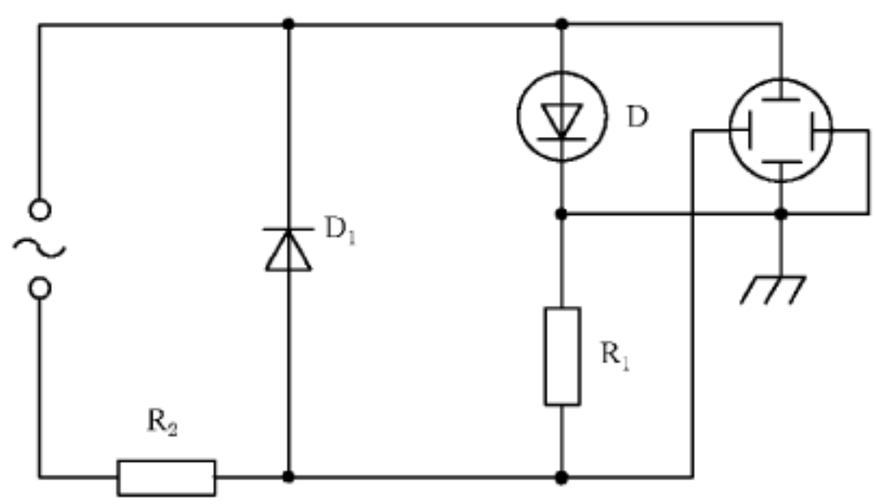


图 10　正向电压的测试电路(直流法)

7.1.2.2　示波器法

正向瞬时电压的基本测试电路示于图 11。受试二极管正向施加正弦半波电流,其电压电流曲线显示于示波器上。

应注意防止热不稳定。



D ——受试二极管;

R_2 ——低阻电阻器。

图 11　正向电压的测试电路(示波器法)

7.1.2.3　脉冲法

目的:

在规定条件下,用脉冲法测量整流二极管的正向电压。

电路图:

正向电压的基本测试电路(脉冲法)示于图 12。

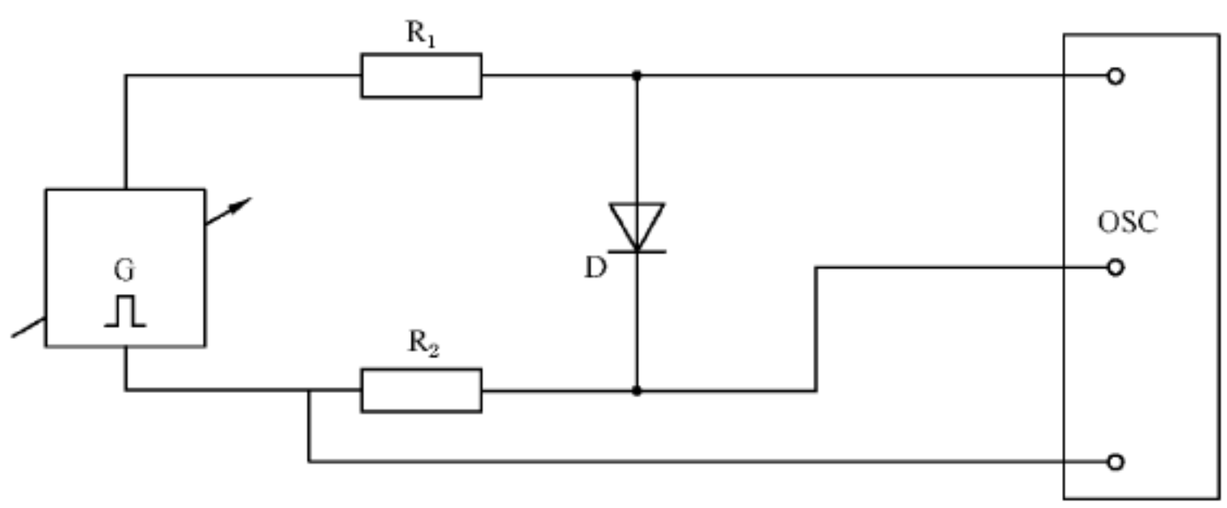


图 12　正向电压的测试电路(脉冲法)

电路说明和要求：

D ——受试二极管；

G ——脉冲发生器；

R_1 ——保护电阻器；

R_2 ——校准过的电流测量电阻器；

OSC——示波器或峰值读数仪表。

脉冲发生器的脉冲宽度及脉冲重复率应使得测量期间所产生的内部发热可忽略。

上述条件通常适用100 μs～500 μs的脉冲宽度。对于大功率二极管，正弦脉冲底宽至1 ms可能更适合于建立载流子平衡。

测量程序：

脉冲发生器电压开始调至零。

温度条件调整至规定值。

然后提高脉冲发生器的电压来调整规定的正向电流，正向峰值电压V_{FM}在示波器上测量。

可用峰值读数仪表代替示波器，但应是正向电流达到其峰值时才测量正向峰值电压的仪表。

规定下列条件的数值：

a) 正向峰值电流I_{FM}；

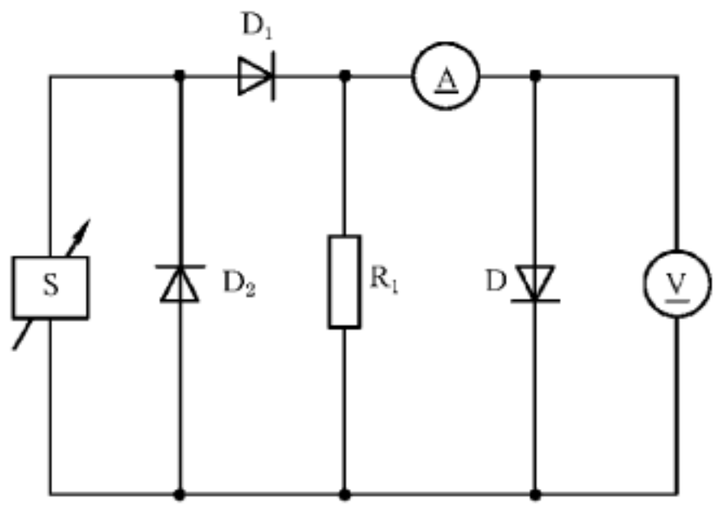
b) 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a、T_c或T_r)。

7.1.2.4 正向平均电压

正向平均电压的基本测试电路示于图13。

可调电流源的阻抗应足够大，以保证正弦半波正向电流流过受试二极管。

正向平均电压用动圈式仪表显示，并在规定条件下进行测量。



D——受试二极管；

S——可调高阻抗电流源。

R_1和D_1的选择应确保受试二极管和D_1承受反向偏压时几乎全部偏压加在D_1两端。

图13 正向平均电压的测试电路

7.1.3 雪崩和可控雪崩整流二极管的击穿电压($V_{(BR)}$)

目的：

在规定条件下用脉冲法测量雪崩整流二极管或可控雪崩整流二极管的击穿电压。

电路图：

击穿电压的测试电路示于图14。

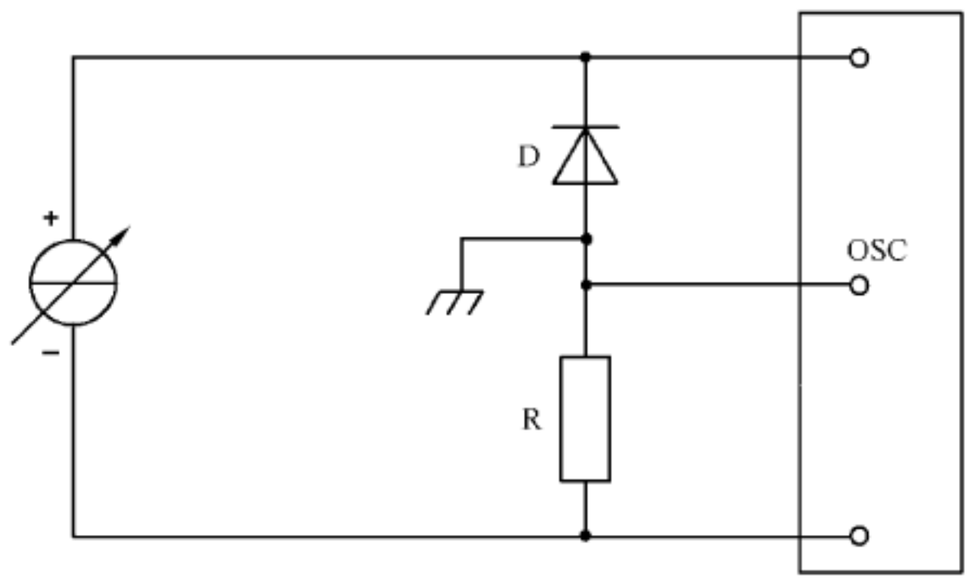


图 14　击穿电压的测试电路

电路说明和要求：

D　——受试二极管；

R　——校准过的无感电阻器；

OSC——示波器或峰值读数仪表。

恒流脉冲发生器的脉冲宽度和占空比应使二极管的内部发热可忽略。

测量程序：

温度调整到规定值。

提高脉冲发生器的输出，以得到规定的反向电流值。由峰值读数仪表读出击穿电压。

规定下列条件的数值：

a）　环境温度、管壳温度、基准点温度或等效结温（T_a、T_c、T_r 或 T_j）；

b）　反向电流 I_R。

7.1.4　反向电流

7.1.4.1　直流法

反向电流的基本测试电路示于图 15。

通过一保护电阻器，施加规定的反向电压，在规定条件下测量反向电流（I_R）。

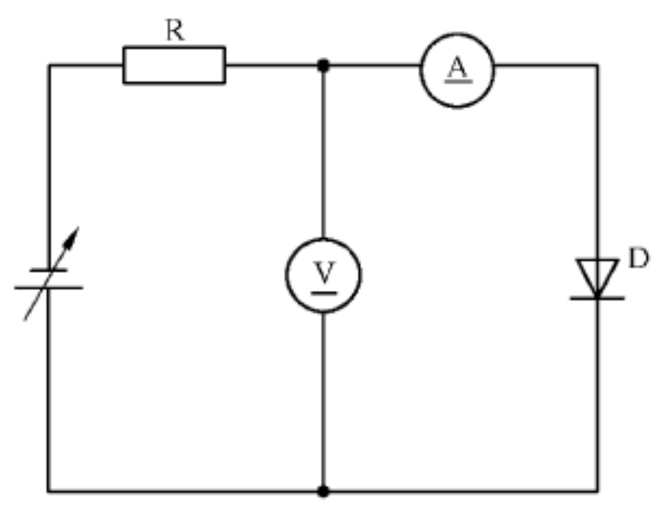
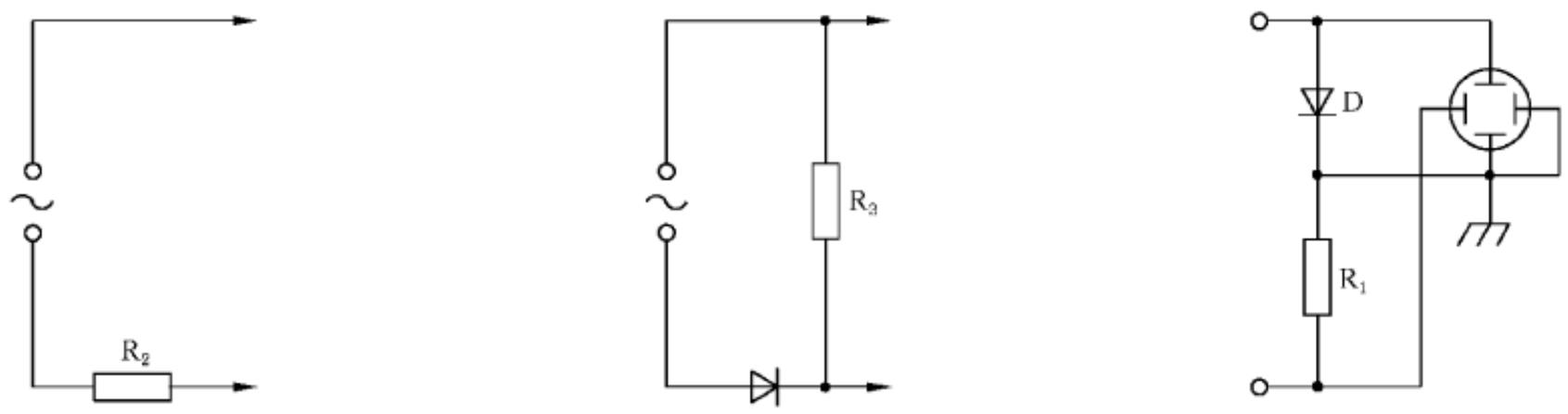


图 15　反向电流的测试电路（直流法）

7.1.4.2　示波器法

反向电流瞬时值的基本测试电路示于图 16。高阻抗或低阻抗电源均可采用，两者分别示于图 16a）和图 16b），电压-电流曲线显示于示波器上。



a) 测试用可变交流电压源　　b) 测试用正弦半波电压源　　c) 采用示波器的测试电路

D——受试二极管；

R_2——高阻电阻器；

R_3——低阻电阻器。

图 16　反向电流的测试电路(示波器法)

图 16a)中，电压源与限流电阻器 R_2 串联，R_2 把正反向电流限至相等值。

图 16b)中，串联二极管的电压源连接于分流电阻器 R_3 的两端。

7.1.4.3　反向峰值电流

目的：

在规定反向重复峰值电压等条件下测量整流二极管的反向峰值电流(I_{RM})。

电路图：

反向峰值电流的测试电路示于图 17。

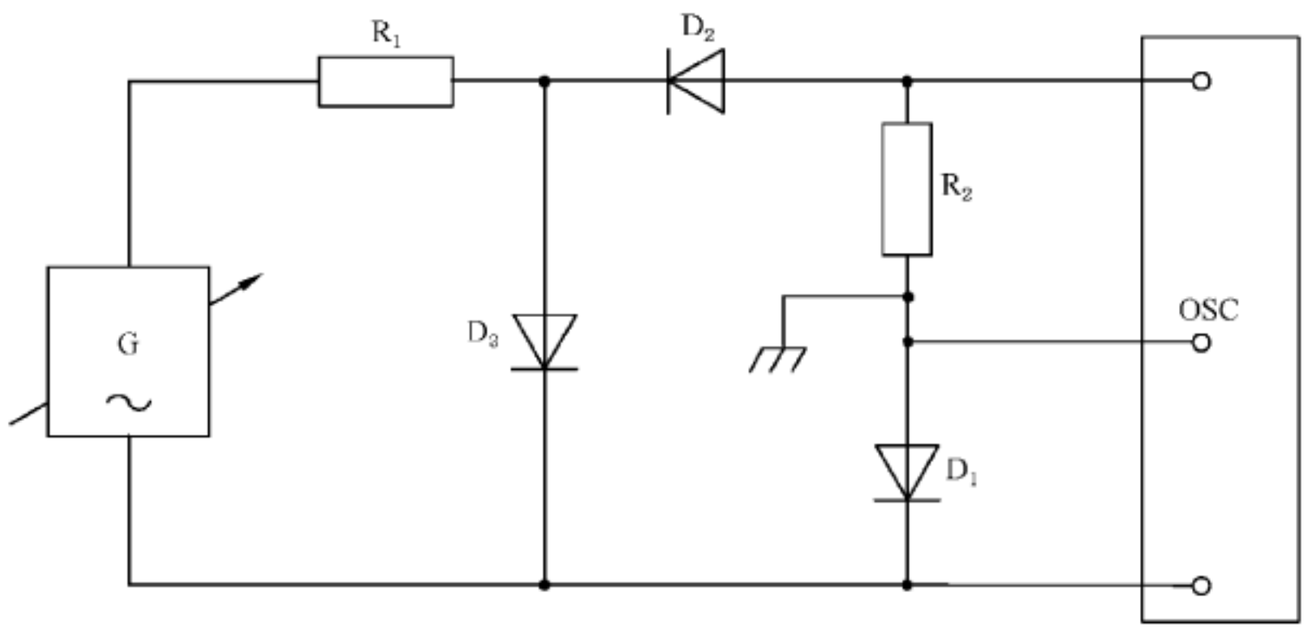


图 17　反向峰值电流的测试电路

电路说明和要求：

D_1　　——受试二极管；

D_2 和 D_3 ——产生负半周期的二极管，只用来测量整流二极管的反向特性；

G　　——交流电压源；

R_1　　——保护电阻器；

R_2　　——校准过的电流测量电阻器；

OSC　　——示波器或峰值读数仪表。

测量程序：

用调整交流电压源，在示波器上测量整流二极管两端的反向重复峰值电压。通过在 R_2 两端连接

的示波器测量整流二极管的反向峰值电流。

可用峰值读数仪表代替示波器，但应是反向电压达到其峰值时才测量反向峰值电流的仪表。

规定下列条件的数值：

a) 反向重复峰值电压 V_{RRM}；

b) 交流电压源频率 f；

c) 环境温度、管壳温度、基准点温度或等效结温（T_a、T_c、T_r 或 T_j）。

7.1.4.4 有正向平均电流耗散时的反向峰值电流

目的：

测量整流二极管由正向电流加热时的反向电流。其测试电路采用耐久性试验的模拟电路。

电路图：

反向峰值电流的测试电路（电流加热法）示于图 18。

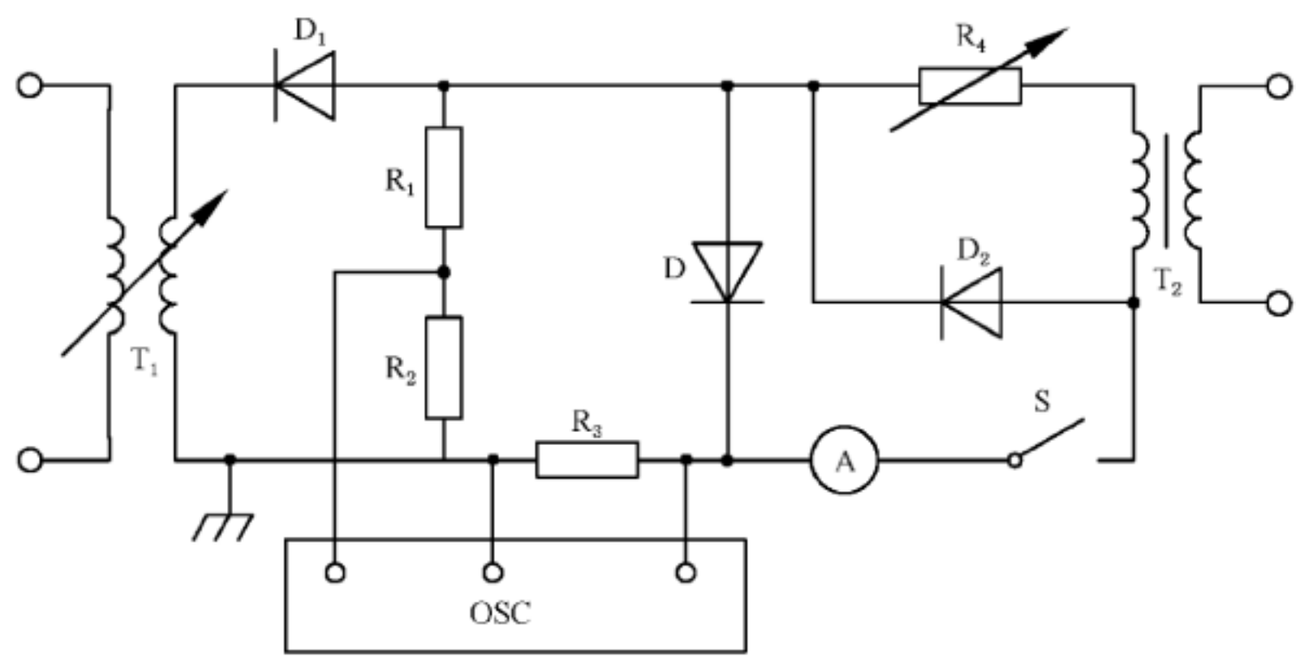


图 18 反向峰值电流的测试电路（电流加热法）

电路说明和要求：

D ——受试二极管；

T_1 ——向受试二极管提供反向半波电压的高压小电流变压器；

T_2 ——向受试二极管提供正向半波电流的低压大电流变压器；

D_1 ——为受试二极管阻断正向半波电压的二极管；

D_2 ——为 T_2 平衡的二极管；

A ——测量正向平均电流的电流表；

OSC ——示波器或峰值读数仪表；

R_1，R_2 ——适合测量仪表的校准过的分压器；

R_3 ——校准过的电流测量电阻器；

R_4 ——提供规定正向电流的可变电阻器；

S ——电子开关或机电开关，其导通角在受试二极管正向导通半周期间，介于 130°～180°之间。该开关在断开时的漏电流应小于受试二极管的反向电流。

测量程序：

用电阻 R_4 调整规定的正向电流。

以正确的相位连接变压器 T_1 的输出端，并调整输入电压至规定的峰值电压。

将冷却条件调整到规定的环境温度、管壳温度或基准点温度。在示波器或峰值读数仪表上观测反向电流。

规定下列条件的数值：

a) 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a、T_c 或 T_r)；

b) 正向平均电流 $I_{F(AV)}$；

c) 反向峰值电压 V_{RM}。

7.1.5 恢复电荷和反向恢复时间(Q_r，t_{rr})

7.1.5.1 正弦半波法

目的：

在规定条件下测量整流二极管的恢复电荷 Q_r 和反向恢复时间 t_{rr}。

电路图和波形：

Q_r 和 t_{rr} 的测试电路(正弦半波法)示于图 19。通过二极管 D 的电流波形(正弦半波法)示于图 20。

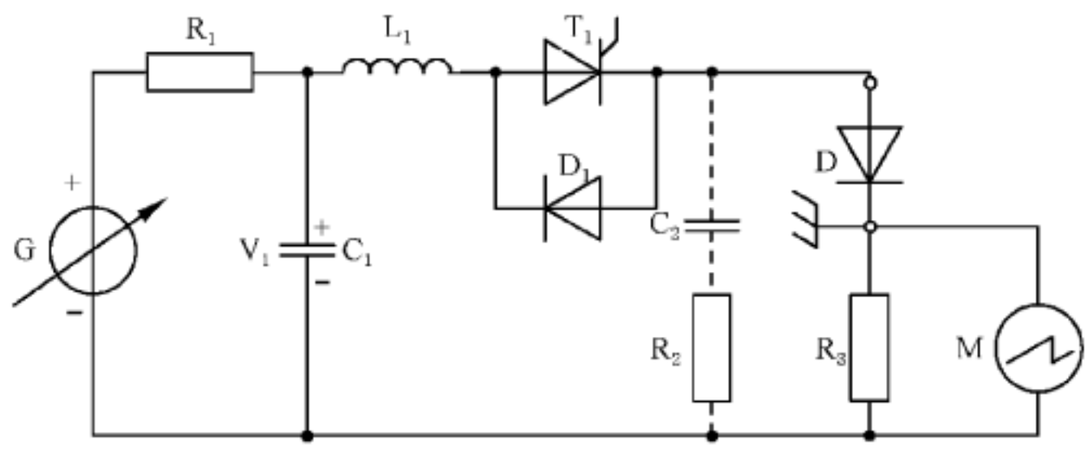


图 19 Q_r 和 t_{rr} 的测试电路(正弦半波法)

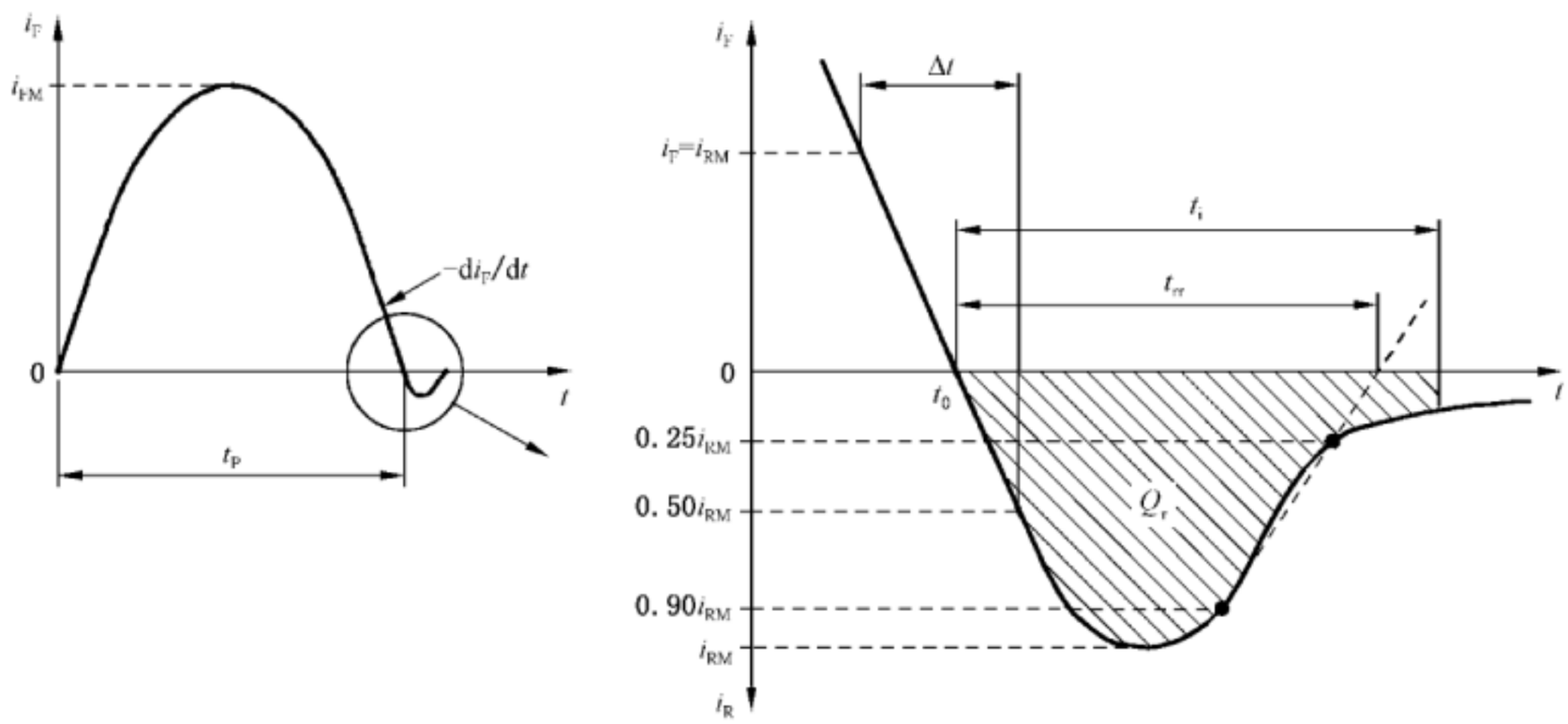


图 20 通过二极管 D 的电流波形(正弦半波法)

电路说明和要求：

D ——受试二极管；

C_1 ——提供正向电流的电容器(还见 L_1)；

C_2 ——限制高感应反向电压的电容器；

D_1 ——反并联二极管；

G ——电压源；

L_1 ——调整正向电流变化率 $-di_F/dt$ 和脉冲持续时间($t_p \approx \pi\sqrt{L_1 \times C_1}$)的电感器；

M ——测量仪表(如示波器)；

R_1 ——限制 C_1 充电的电阻器；

R_2 ——限制高感应反向电压的电阻器；

R_3 ——校准过的电流测量无感电阻器；

T_1 ——电子开关(如晶闸管)。

测量程序：

触发晶闸管 T_1 后，调整电压源 G 给出通过二极管 D 的规定值正向峰值电流 I_{FM}。脉冲持续时间 t_p、正向电流变化率 $-di_F/dt$ 和 C_1 两端的电压 V_1 应符合规定的条件，则被测量的恢复电荷由式(2)计算。计算时，积分时间 t_i 优先等于规定的 t_{rr} 最大值。

被测反向恢复时间 t_{rr} 为：t_0 和 i_R 值下降到 $0.9I_{RM}$、$0.25I_{RM}$ 两点连线与零值电流轴交点之间的时间间隔。

规定下列条件的数值：

a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c)；

b) 正向峰值电流 I_{FM}；

c) C_1 两端的电压 V_1；

d) 正向电流脉冲持续时间 t_p；

e) 正向电流变化率 $-di_F/dt$(见注)；

f) 积分时间 t_i；

g) C_1，C_2，R_2。

注：电流过零，并在 $i_F=I_{RM}$ 和 $i_R=0.5I_{RM}$ 之间的电流值测定正向电流变化率，见式(4)：

$$-di_F/dt = \frac{3}{2} \times \frac{I_{RM}}{\Delta t}\text{(见图 20)} \qquad \cdots\cdots(4)$$

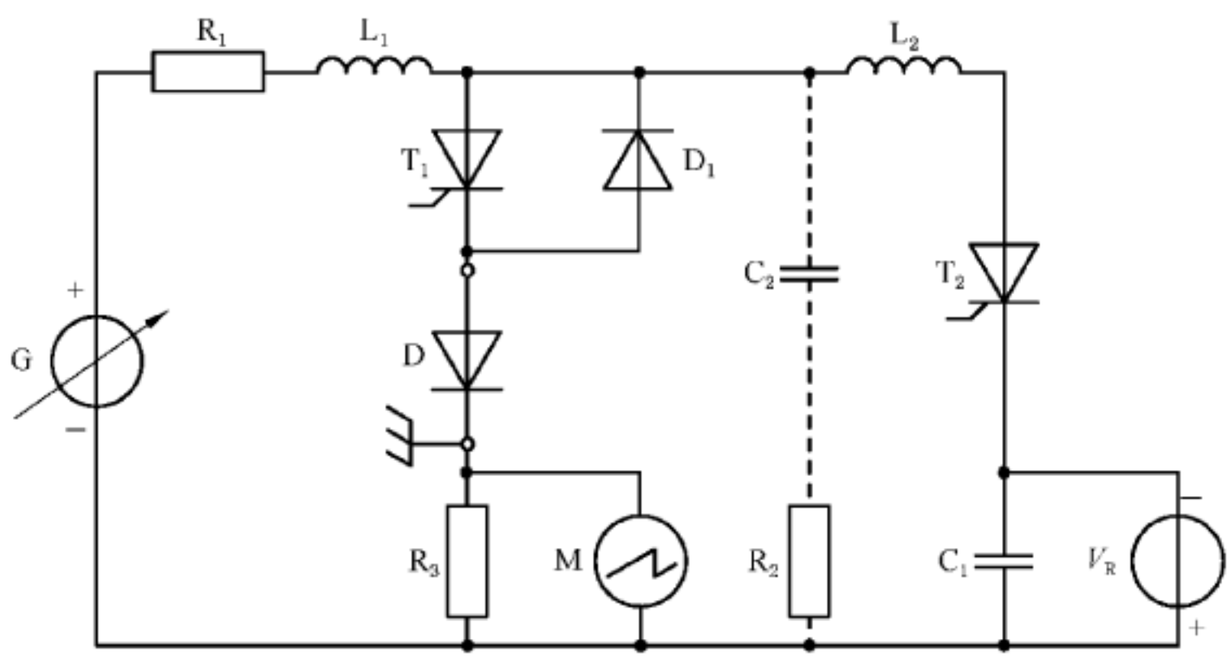
7.1.5.2 矩形波法

目的：

在规定条件下测量整流二极管的恢复电荷 Q_r 和反向恢复时间 t_{rr}。

电路图和波形：

Q_r 和 t_{rr} 的测试电路(矩形波法)示于图 21。通过二极管 D 的电流波形(矩形波法)示于图 22。



D——受试二极管。

图 21 Q_r 和 t_{rr} 的测试电路(矩形波法)

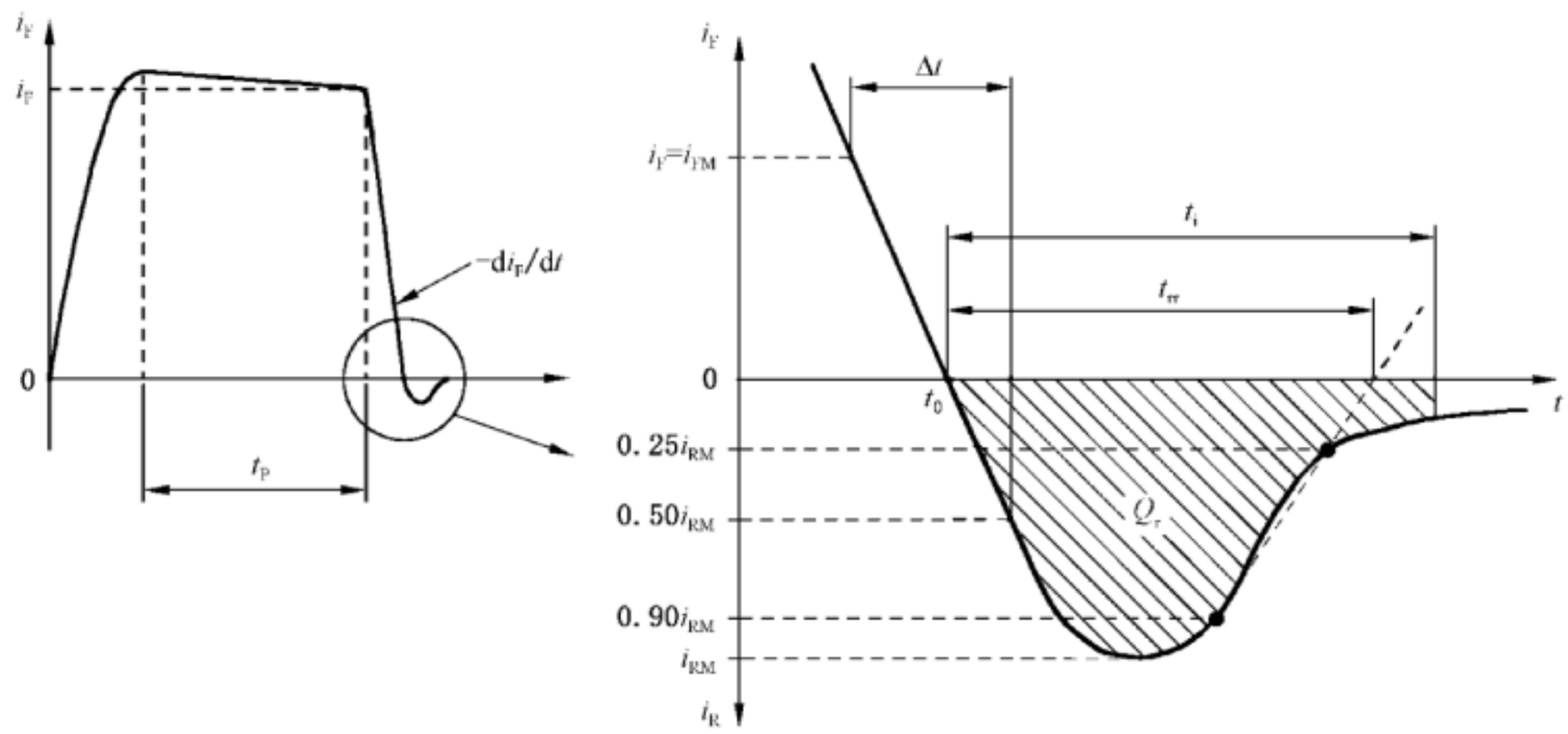


图 22　通过二极管 D 的电流波形(矩形波法)

电路说明和要求:

C_1　——提供反向电流的电容器;

C_2　——限制高感应反向电压的电容器;

D_1　——反并联二极管;

G　——电压源;

L_1　——阻断反向电压的电感器(L_1/R_1 值的选择应比时间 t_p 小很多);

L_2　——调整正向电流变化率 $-di_F/dt$ 的电感器;

M　——测量仪表(如示波器);

R_1　——限制正向电流的电阻器;

R_2　——限制高感应反向电压的电阻器;

R_3　——校准过的电流测量无感电阻器;

T_1,T_2——电子开关(如晶闸管)。

测量程序:

触发晶闸管 T_1 后,调整电压源 G,使在触发 T_2 前给出规定值正向电流 I_F。

在时间 t_p 后触发 T_2,用外加反向电压 V_R 的方法使二极管电流反向。

用与电容器 C_1 相连的反向电压 V_R 和电感器 L_2 调整正向电流变化率至规定值。

则被测恢复电荷由式(2)计算。计算时,积分时间 t_i 优先等于规定的 t_{rr}最大值。

被测反向恢复时间 t_{rr}为:t_0 和 i_R 值下降到 $0.9I_{RM}$、$0.25I_{RM}$两点连线与零值电流轴交点之间的时间间隔。

规定下列条件的数值:

a)　环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);

b)　正向电流 I_F(触发 T_2 前);

c)　反向电压 V_R;

d)　正向电流脉冲持续时间 t_p;

e)　正向电流变化率 $-di_F/dt$(见注);

f)　积分时间 t_i;

g)　L_1,L_2,C_2,R_2。

注:电流过零,并在 $i_F=I_{RM}$和 $i_R=0.5I_{RM}$之间的电流值测定正向电流变化率,有式(4)(参见图 22)。

7.1.6 正向恢复时间和正向恢复峰值电压(t_{fr},V_{FRM})

目的：

测量整流二极管的正向恢复时间 t_{fr} 和正向恢复峰值电压 V_{FRM}。

电路图和波形：

t_{fr} 和 V_{FRM} 测试电路示于图 23。测量 t_{fr} 和 V_{FRM} 的电流和电压波形示于图 24。

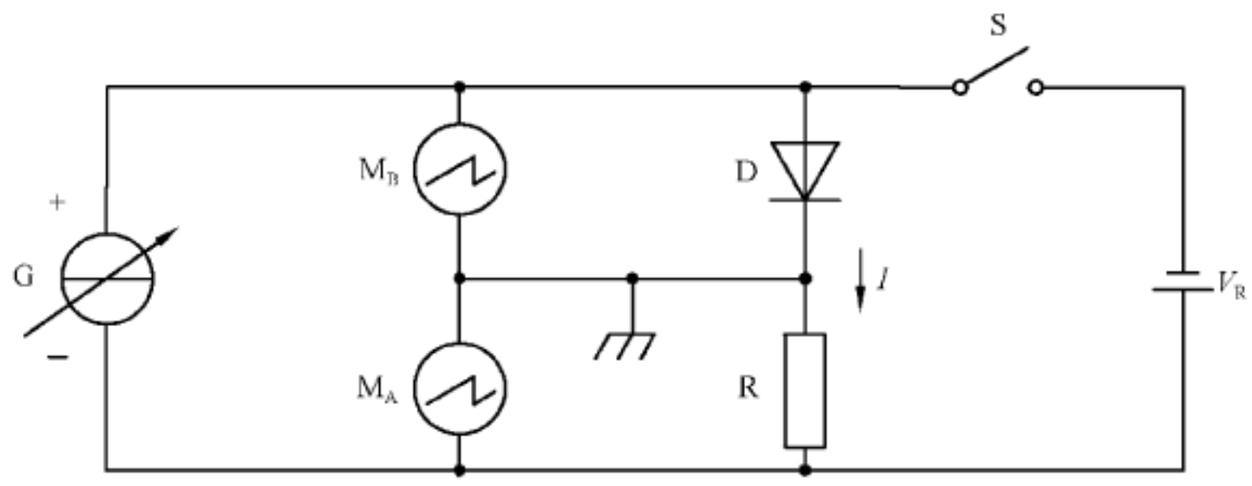
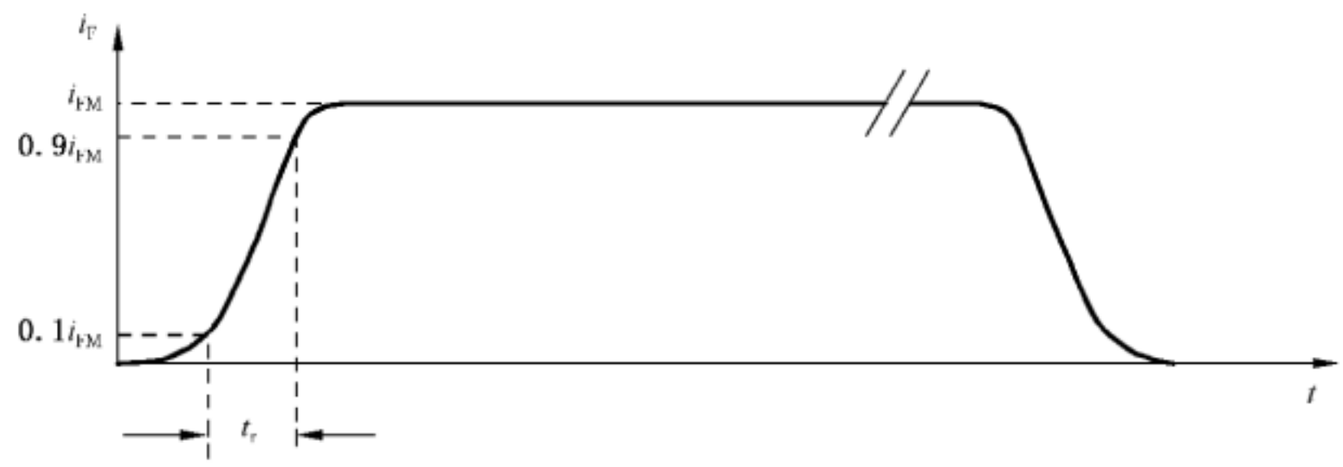
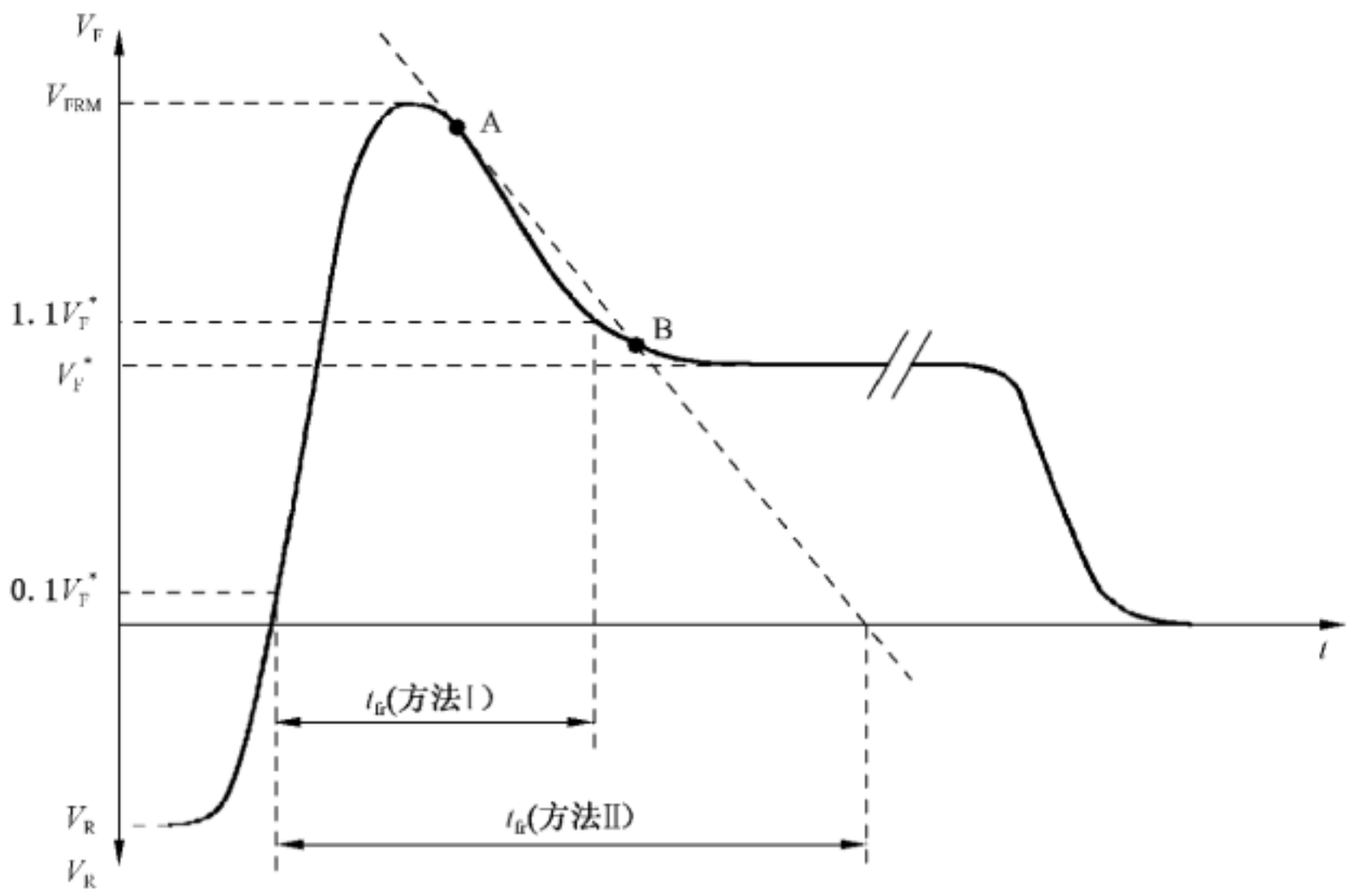


图 23 t_{fr} 和 V_{FRM} 的测试电路



a） 电流波形



b） 电压波形

图 24 测量 t_{fr} 和 V_{FRM} 的电流和电压波形

电路说明和要求：

D　　——受试二极管；

G　　——具有开路输出电压最小值 50 V 或 3 倍 V_{FRM}（两者取较大的）的电流脉冲发生器；

R　　——校准过的无感电阻器；

S　　——电子开关，除电流脉冲刚开始前的时间和脉冲整个持续期间外，此开关应闭合；

M_A，M_B——示波器或其他监测仪表。

电流脉冲持续时间应足够长，以使正向电压能达到稳态值 V_F^*。

电流脉冲持续时间和占空比应使得二极管内部产生的热量可以忽略。

测量程序：

设定温度为规定值。

在 M_A 上监测电流波形的同时，调整电流脉冲电源使上升时间 t_r 和正向电流 I_{FM} 达到规定的条件。

调整反向电压 V_R 至规定值，并适当设定开关 S。

按规定的标准方法，用在 M_B 上显示的二极管两端电压波形，测量正向恢复峰值电压 V_{FRM} 和正向恢复时间 t_{fr}。

规定下列条件的数值：

a）　等效结温 T_j；

b）　正向峰值电流 I_{FM}；

c）　电流脉冲上升时间 t_r（10%I_{FM} 和 90%I_{FM} 之间的时间，另有规定除外）；

d）　规范的方法Ⅰ：确定正向恢复时间起点和终点的电压值，如该两点分别不是 10%V_F^* 和 110%V_F^* 时；

e）　规范的方法Ⅱ：A、B 两点电压（V_{FRM} 的百分值）；

f）　反向电压 V_R。

7.2　热特性的测量方法

7.2.1　基准点温度

7.2.1.1　对于那些带有制造厂钻出测量孔的器件，管壳温度用插入孔内的热偶测量。

热偶截面的直径不应大于 0.25 mm。热偶小球应用熔焊法而不用锡焊或铰扭形成。小球插入孔内后拍击孔边金属将热偶小球盖住。

7.2.1.2　对于其他器件，基准点温度采用可忽略热容量的热敏元件测量。用粘合、焊接或夹、卡的方法使热敏元件与管壳可靠贴紧，以保证热阻可忽略不计。

7.2.2　热阻与瞬态热阻抗

7.2.2.1　引言

测量热阻和瞬态热阻抗是基于用热敏参数作为等效结温的读数。通常采用整流二极管在小百分数额定电流时的正向电压作为热敏参数。

这种方法的测量准确度未规定，然而，应注意后面简要的注意事项。

7.2.2.2　热阻（R_{th}）

目的：

测量整流二极管的结和基准点（最好在管壳上）之间的热阻。

方法原理：

通过冷却条件调整，使两次不同的耗散功率 P_1 和 P_2 产生相同结温的条件下，测量器件两次加热

的基准点温度 T_1 和 T_2。基准电流时的正向电压用来检验是否达到相同的结温。则有式(5)：

$$R_{th}=\frac{T_1-T_2}{P_2-P_1} \qquad \cdots\cdots(5)$$

基本电路图：

热阻的测试电路示于图 25。

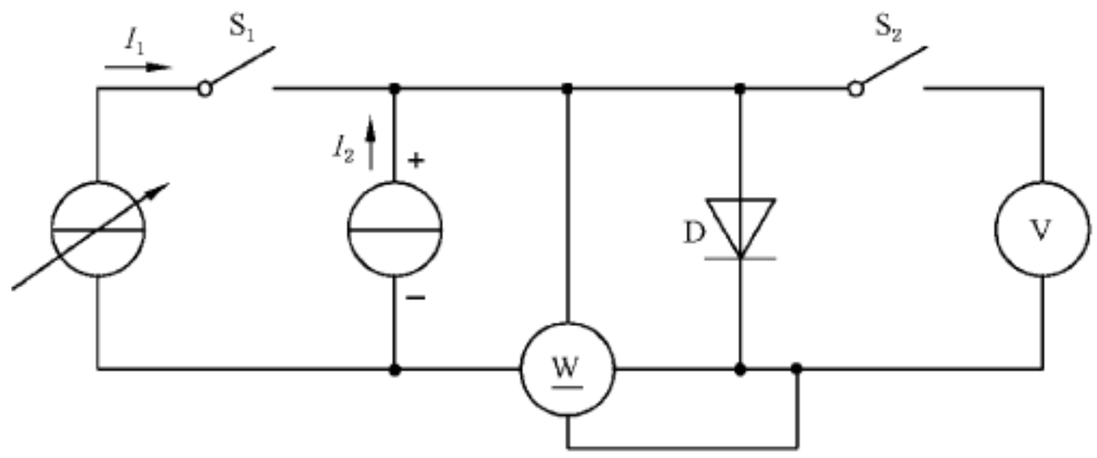


图 25　热阻的测试电路

电路说明和要求：

D ——受试二极管；

I_1 ——在结产生耗散功率 P 的负载电流，直流或交流；

I_2 ——在负载电流 I_1 周期性切断短时间内，用于监测的基准直流电流；

W ——指示负载电流 I_1 在结产生耗散功率 P 的瓦特表(对于交流法，W 测量受试器件的平均耗散功率)；

S_1 ——周期性切断负载电流 I_1 的电子开关(对于直流法)；对于交流法，电子开关 S_1 不一定使用；

S_2 ——负载电流 I_1 切断时应闭合的电子开关；

V ——零位法电压表。

应遵守的注意事项：

当从负载电流 I_1 转换到基准电流 I_2 时，由于过剩电荷载流子而产生瞬态电压。如果受试器件的管壳含有铁磁性材料，则会产生附加的瞬态电压，因此在这些瞬态效应消失之前，不应闭合开关 S_2。

注：上述的负载电流 I_1 可以为零，则耗散功率 P_1 也为零，且等效结温与基准点温度 T_1 相同。

测量程序：

将受试器件紧固在保持某一固定温度的散热器上。把热偶固定在测量受试器件温度的基准点上。测量分两步进行：

a) 将散热器保持在较高的温度上。施加较小的负载电流 I_1，在结产生耗散功率 P_1。达到热平衡后，对零位法电压表 V 进行零平衡调整。
   记录基准点温度 T_1。

b) 将散热器保持在较低的温度上。增大负载电流 I_1，直至功率 P_2 使结加热到与 a)相同的结温。这可由零位法电压表 V 的零平衡显示。
   记录基准点温度 T_2。

热阻 R_{th} 由式(5)计算。

7.2.2.3　瞬态热阻抗[$Z_{th}(t)$]

目的：

测量整流二极管的结和基准点(最好在管壳上)之间的瞬态热阻抗。

方法原理：

施加加热电流并达到热平衡后，记录器件的耗散功率。然后切断加热电流，将基准电流的正向电压

和基准点温度作为时间的函数一并记录下来。

再后由相同基准电流得到的校准曲线，计算随时间变化的等效结温。

基本电路图：

瞬态热阻抗的测试电路示于图 26。

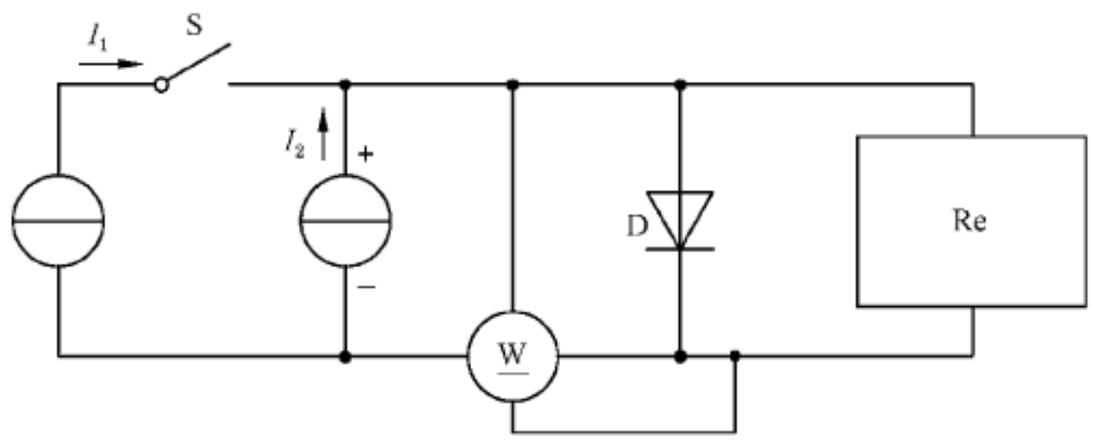


图 26　瞬态热阻抗的测试电路

电路说明和要求：

D ——受试二极管；

I_1 ——在结产生耗散功率 P 的负载电流；

I_2 ——基准直流电流；

S ——切断负载电流 I_1 的开关；

W ——指示负载电流 I_1 在结产生耗散功率 P 的瓦特表；

Re ——记录仪器，如记录由 I_2 产生的正向电压随时间变化的示波器。

测量程序：

a) 用外部加热（如油槽法）改变器件的温度，按作为等效结温的函数，测量由基准电流 I_2 产生的正向电压，并绘制校准曲线。

b) 将受试器件紧固在保持某一固定温度的散热器上。把热偶固定在待测受试器件温度 T_{ref} 的基准点上，施加加热电流 I_1 使受试器件结产生耗散功率 P，并建立热平衡。

c) 断开开关 S，切断加热电流 I_1。用记录仪器 Re 记录由基准电流 I_2 产生的正向电压随冷却时间变化的多组数据。同时，记录作为时间函数的基准点温度。

d) 用校准曲线，将记录的正向电压曲线转换成等效结温 T_j，则瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 用式(6)计算：

$$Z_{th}(t)=\frac{|T_j(0)-T_r(0)|-|T_j(t)-T_r(t)|}{P} \quad \cdots\cdots(6)$$

式中：

$T_j(0)$，$T_r(0)$——在断开 S，t 为 0 时的温度；

$T_j(t)$，$T_r(t)$——在时间 t 的温度。

7.3　额定值（极限值）的检验方法

7.3.1　正向浪涌电流（I_{FSM}）

目的：

在规定条件下检验整流二极管的正向浪涌电流额定值。

电路图：

浪涌电流的测试电路示于图 27。

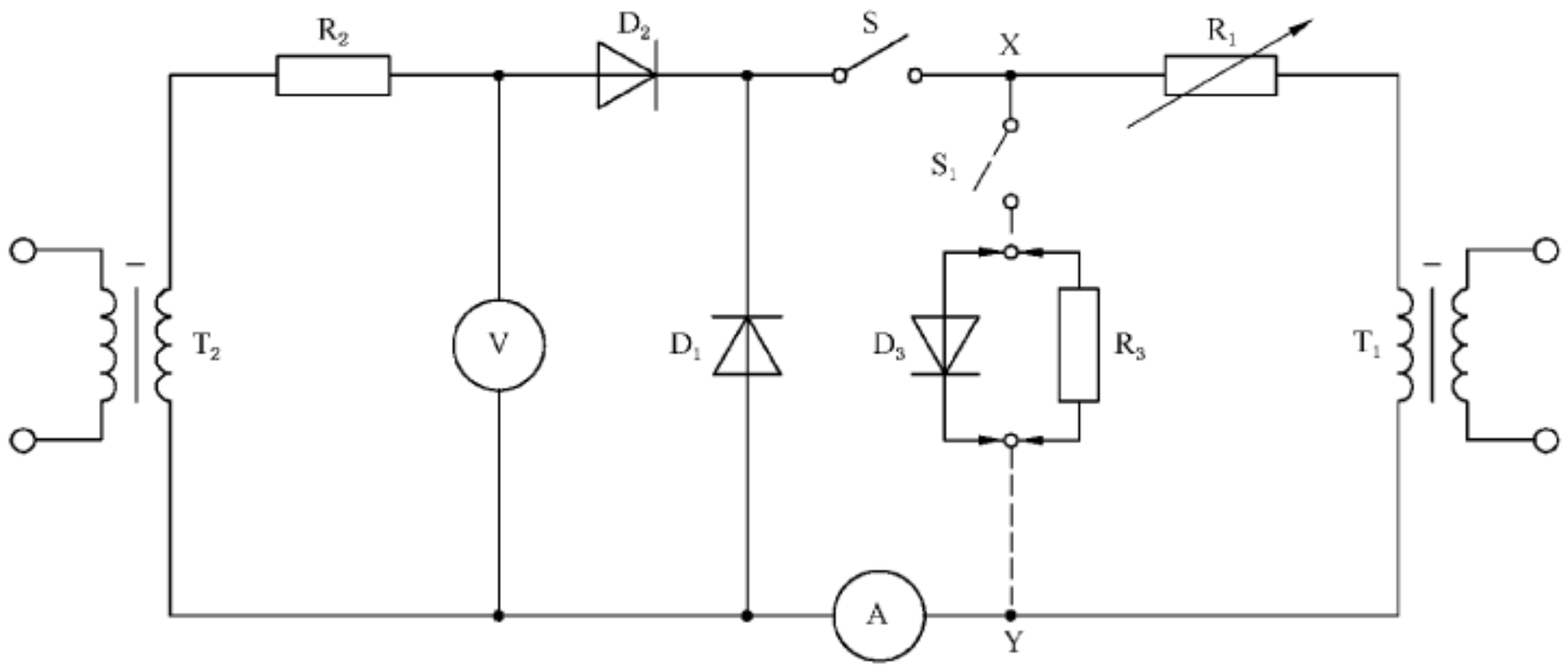


图 27　浪涌电流的测试电路

电路说明和要求：

A ——峰值读数仪表(如电流表或示波器)；

D_1 ——受试二极管；

D_2 ——阻断由变压器 T_2 供给正向电压的二极管；

R_1 ——调整浪涌电流的电阻器，其值应大于二极管 D_3(若有)的正向电阻(见下面的注)；

R_2 ——保护电阻器，此电阻应尽可能小；

S ——在正向(浪涌)半周期间具有近似 180°导通角的机电开关或电子开关；

T_1 ——通过开关 S 提供正向(浪涌)半周的大电流低电压变压器，其电流波形应基本上是持续时间近似 10 ms(或 8.3 ms)、重复率近似每秒 50(或 60)个脉冲的正弦半波；

T_2 ——通过二极管 D_2 提供反向半周的小电流高电压变压器，若此变压器由一单独电源馈电，则其相位应与 T_1 的馈电相位相同，其电压波形应基本上为正弦半波；

V ——峰值读数仪表(如电压表或示波器)。

注：若需要，在 X 点和 Y 点之间接入二极管 D_3 及串联的开关 S_1，或接入电阻器 R_3 及串联的开关 S_1。

这些电路并非强制的。

D_3 为均流二极管，其正向电阻与受试二极管近似相同。

如采用电阻器 R_3，则其电阻值亦应与受试二极管的正向电阻相同。

S_1 为机电开关或电子开关，在变压器 T_1 的反向半周期间，其导通角近似为 180°。

试验程序：

将电压源和电流源调至零。

整流二极管按其极性标志装进试验管座，并检查其温度条件。

将反向峰值电压调至规定值，并用峰值读数仪表 V 测量。

用调整 R_1，设定正向浪涌电流为规定值，并用峰值读数仪表 A 测量。

按规定次数对受试整流二极管施加正向浪涌电流。

由试验后的测量得到整流二极管承受正向浪涌电流能力的验证。

规定下列条件的数值：

a) 反向峰值电压 V_{RM}；

b) 正向浪涌电流 I_{FSM}；

c) 反向电压源的最大阻抗；

d) 每次浪涌的周波数、浪涌次数和重复率；

e) 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a、T_c 或 T_r)；

f) 试验后的测量极限。

7.3.2 反向不重复峰值电压(V_{RSM})

目的：

在规定条件下检验整流二极管的反向不重复峰值电压额定值。

电路图：

反向不重复峰值电压的测试电路示于图 28。

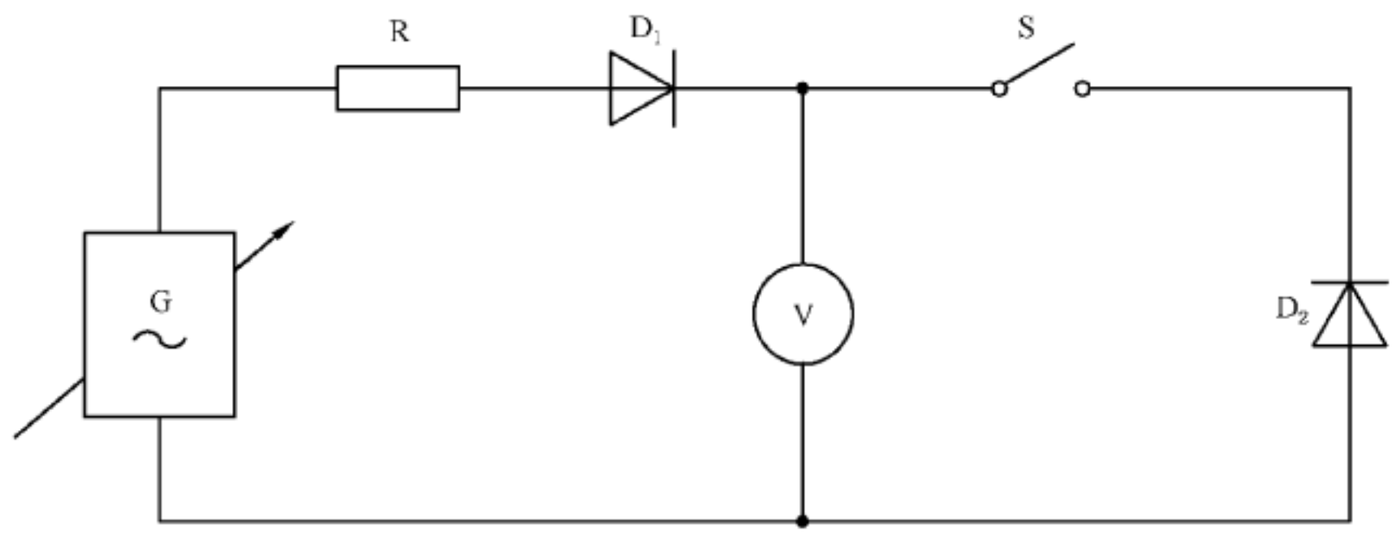


图 28 反向不重复峰值电压的测试电路

电路说明和要求：

D_1——提供负半周期的二极管，只用来测量受试二极管的反向特性；

D_2——受试二极管；

G ——交流电压源；

S ——机电开关或电子开关(导通角近似 180°)，此开关在反向半周期对受试整流二极管施加电源电压；

V ——峰值读数仪表。

试验程序：

偏置条件调至零时，受试整流二极管装进试验管座。

断开开关 S，并使交流电源电压上升至反向不重复峰值电压的规定值。

检查规定的温度条件。

闭合开关 S(导通角近似 180°)以施加规定的反向不重复峰值电压。

由试验后的测量得到整流二极管承受反向不重复峰值电压额定值能力的验证。

规定下列条件的数值：

a) 反向不重复峰值电压 V_{RSM}；

b) 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a、T_c 或 T_r)；

c) 半周脉冲的持续时间 t_w；

d) 脉冲次数和重复率；

注：重复率应使得一个脉冲的热效应在下一个脉冲到达之前即已完全消失。

e) 试验后的测量极限。

7.3.3 雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率(重复或不重复的)(P_{RRM}，P_{RSM})

目的：

在规定条件下，检验雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率额定值。

规定了下列三种试验方法：

A ——三角波脉冲法；

B ——正弦波脉冲法；

C ——矩形波脉冲法。

7.3.3.1 方法 A:三角波脉冲法

雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路(反向电流三角波法)示于图 29。

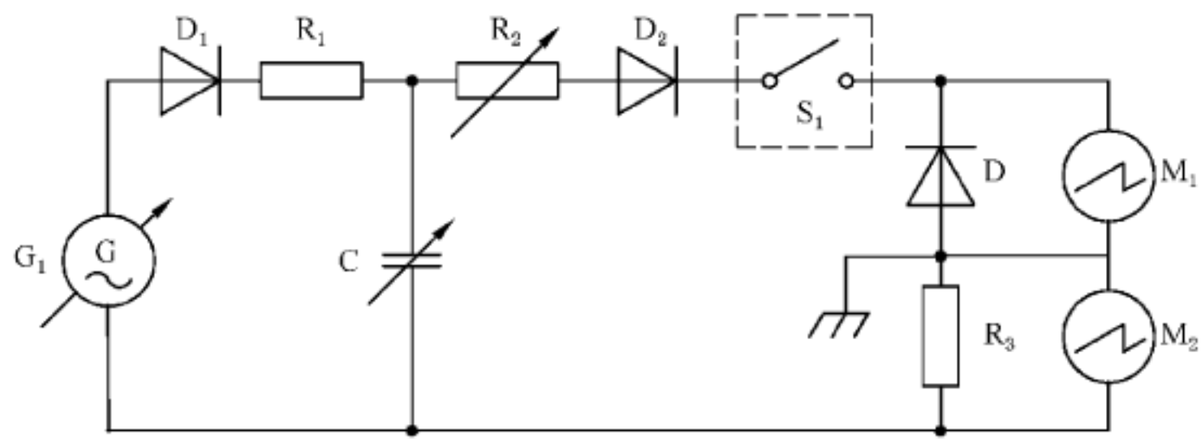


图 29 雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路(反向电流三角波法)

D ——受试二极管；

G_1 ——可调交流电压源；

D_1 ——整流二极管；

R_1 ——限流电阻器；

C ——调整脉冲持续时间的可变电容器；

R_2 ——调整反向开路峰值电压的可变无感电阻器(见 7.3.3.4)；

D_2 ——阻断用二极管,如需要；

S_1 ——使电容器 C 放电的机电开关或电子开关(如火花放电器或晶闸管)；

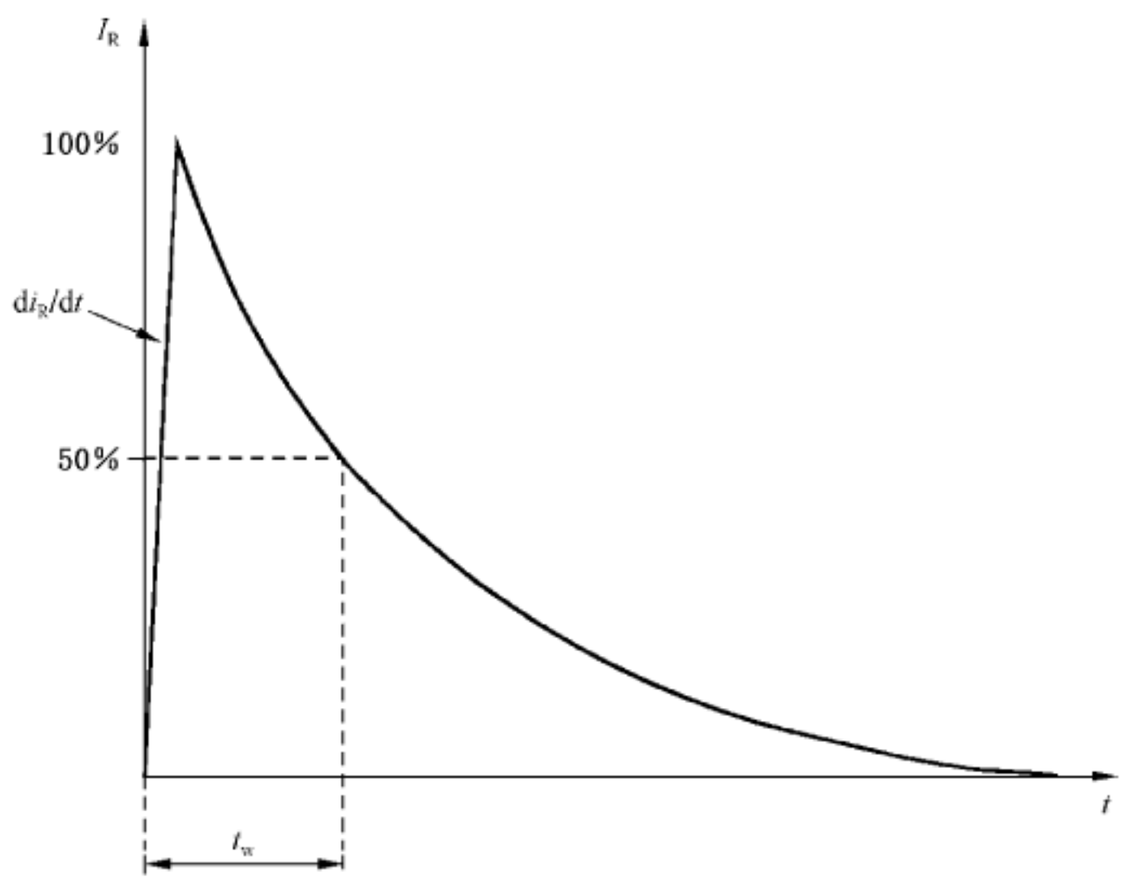
R_3 ——电流测量无感电阻器；

M_1 ——测量反向开路峰值电压的仪器(如示波器)；

M_2 ——测量反向电流脉冲持续时间的仪器(如示波器)。

M_1 和 M_2 可为组合式的仪器(如双踪示波器)。

反向电流脉冲应如图 30 所示。



t_w ——规定的脉冲持续时间。

图 30 反向电流波形(三角波法)

7.3.3.2 方法 B:正弦波脉冲法

雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路(反向电流正弦波法)示于图 31。

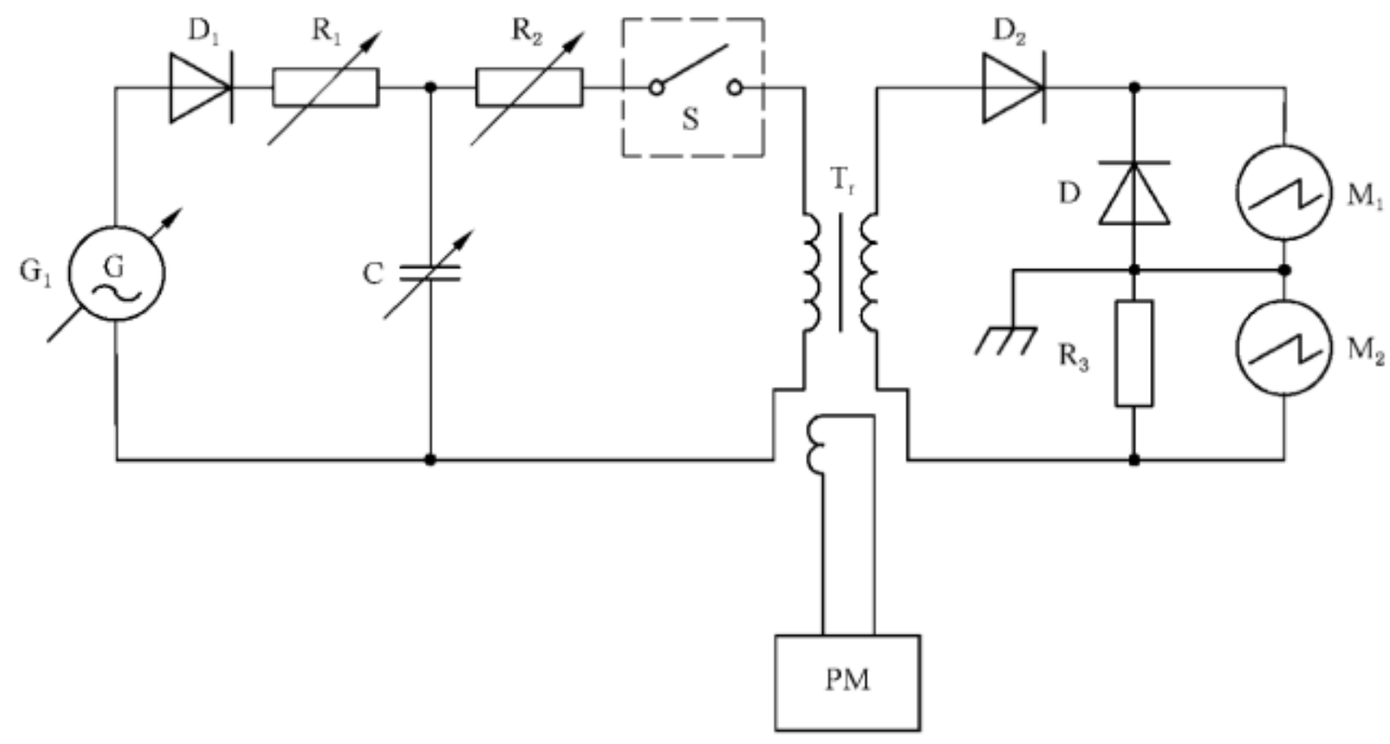
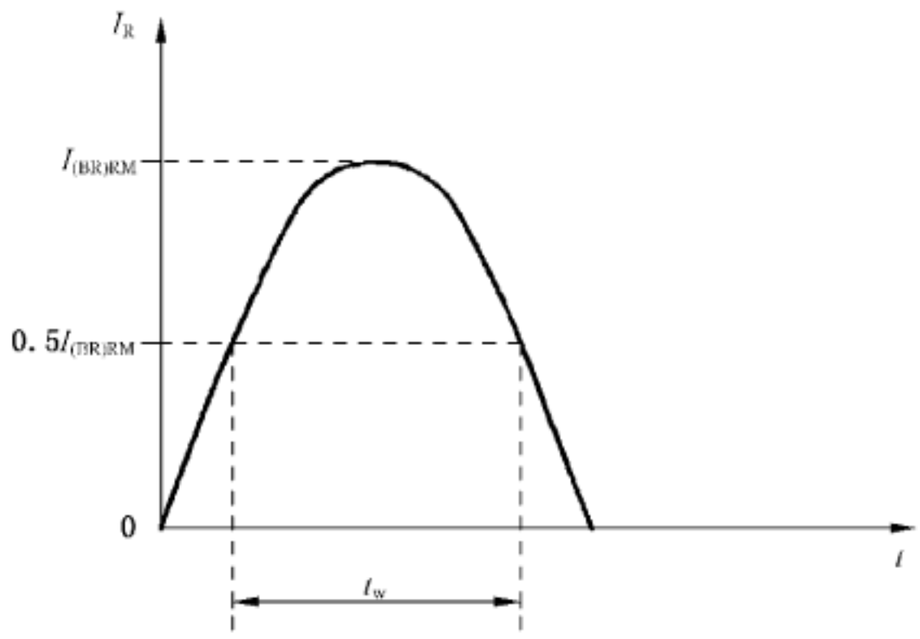


图 31 雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路(反向电流正弦波法)

D ——受试二极管;
G_1 ——可调交流电压源;
D_1 ——整流二极管;
R_1 ——限流电阻器;
C ——调整脉冲持续时间的可变电容器;
R_2 ——调整反向开路峰值电压的可变无感电阻器(见 7.3.3.4);
S ——使电容器 C 向变压器 T_r 初级绕组放电的机电开关或电子开关(如火花放电器或晶闸管);
T_r ——高压变压器;
PM——防止 T_r 饱和的预磁化源或其他适当的装置;
D_2 ——阻断用二极管,如需要;
R_3 ——电流测量无感电阻器;
M_1 ——测量反向开路峰值电压的仪器(如示波器);
M_2 ——测量反向电流脉冲持续时间的仪器(如示波器)。
M_1 和 M_2 可为组合式的仪器(如双踪示波器)。
反向电流脉冲应如图 32 所示。



t_w——规定的脉冲持续时间。

图 32 反向电流波形(正弦波法)

7.3.3.3 方法 C:矩形波脉冲法

雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路(反向电流矩形波法)示于图 33。

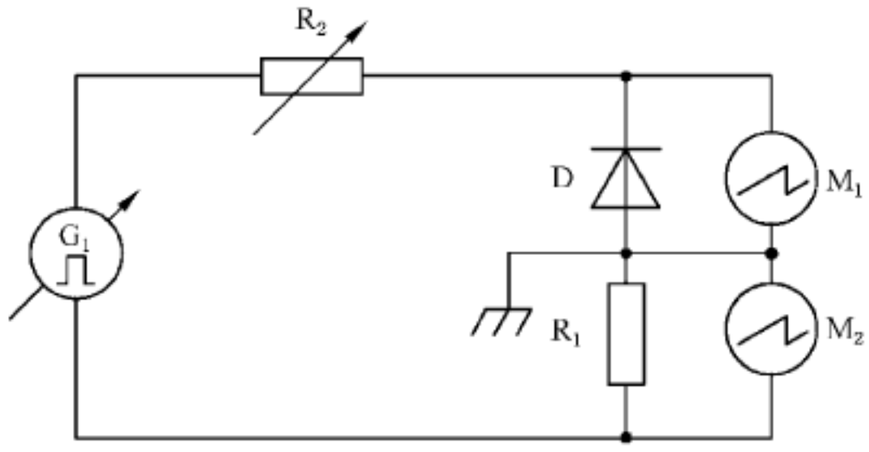


图 33 雪崩和可控雪崩整流二极管的反向峰值功率的测试电路(反向电流矩形波法)

D ——受试二极管;

G_1 ——能提供单个或多个矩形波电压脉冲的可调脉冲发生器;

R_1 ——电流测量无感电阻器;

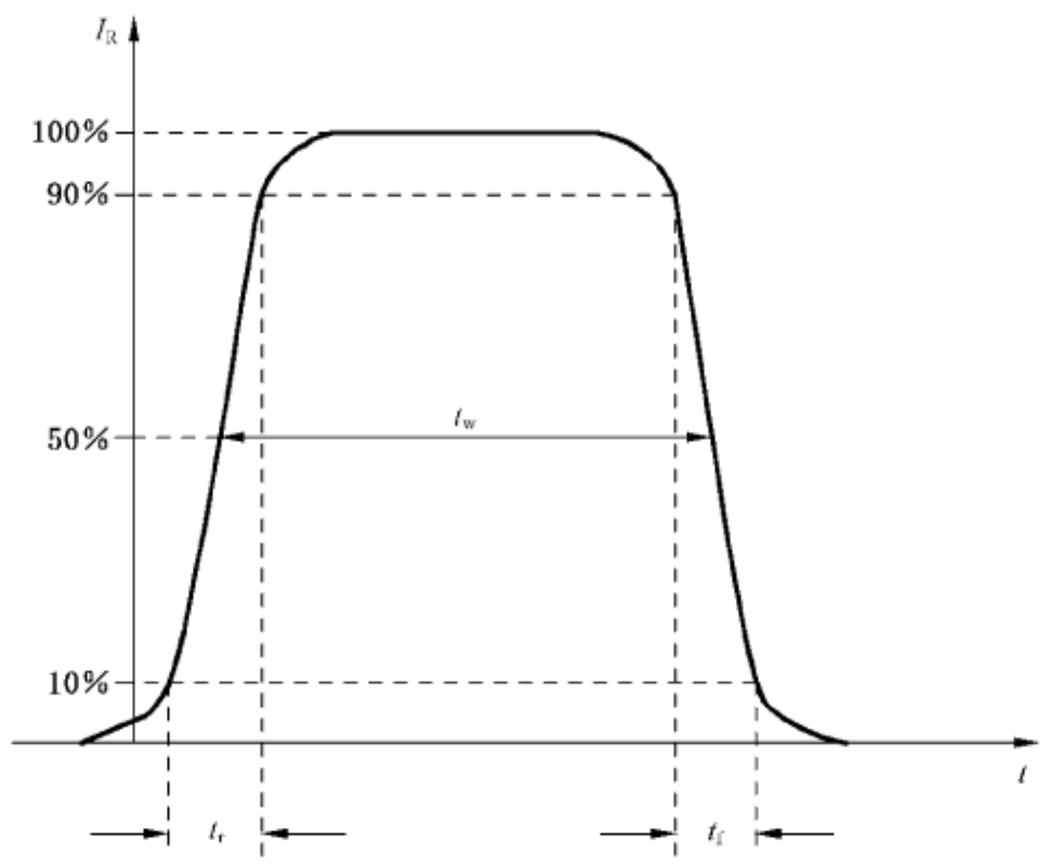
R_2 ——调整反向开路峰值电压的可变无感电阻器(见 7.3.4);

M_1——测量反向开路峰值电压的仪器(如示波器);

M_2——测量反向电流脉冲持续时间的仪器(如示波器)。

M_1 和 M_2 可为组合式的仪器(如双踪示波器)。

反向电流脉冲应如图 34 所示。



t_w——规定的平均脉冲持续时间,以 50%脉冲幅值的两点间宽度计;

$t_r \leqslant 20\% t_w$;

$t_f \leqslant 20\% t_w$。

图 34 反向电流波形(矩形波法)

7.3.3.4 起始调整程序(适用于三种方法)

R_2 的值(对方法 C 包括电压源 G_1 的阻抗)由式(7)确定:

$$R_2 = \frac{V_{(BR)max} \times V_{(BR)min}}{P_{RXM}} \qquad \cdots\cdots(7)$$

式中：

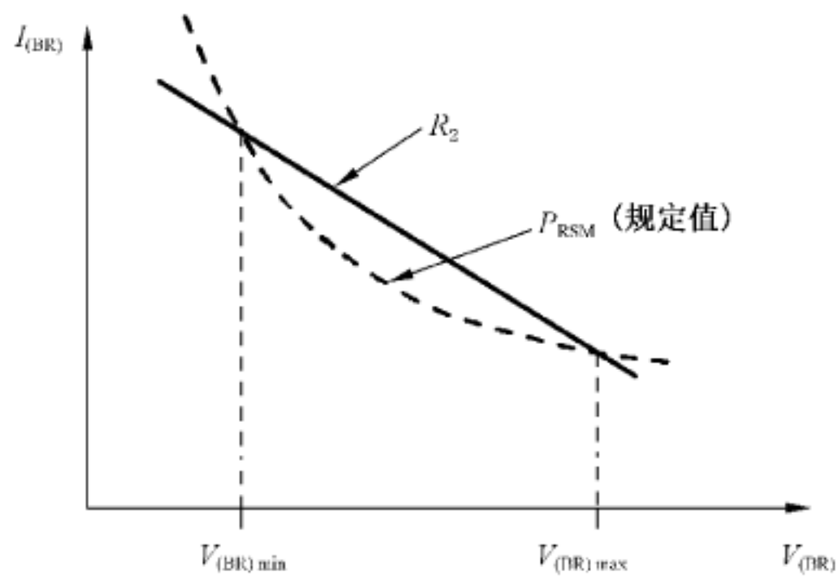
$V_{(BR)max}$——$V_{(BR)}$范围的上限值；

$V_{(BR)min}$——$V_{(BR)}$范围的下限值；

P_{RXM} ——$\begin{cases} P_{RSM}，检验\ P_{RSM}\ 时； \\ P_{RRM}，检验\ P_{RRM}\ 时。\end{cases}$

在管座未插入二极管前，调整电压源 G_1 使脉冲电压上升，直到 M_1 上测得的反向开路电压的峰值等于 $V_{(BR)max}$与 $V_{(BR)min}$之和。图 35 给出了 P_{RSM}与 V_{BR}的关系。

然后将脉冲发生器切断，但维持设定。



R_2——负载线。

图 35　反向功率 P_{RSM}与击穿电压的关系

试验程序（适用于三种方法）：

按受试二极管的极性标志，将其插入管座中。

设定温度为规定值。

施加规定的脉冲序列。

由试验后的测量，验证二极管承受反向峰值功率额定值的能力。

规定下列条件的数值（适用于三种方法）：

a）　采用的试验方法（A、B 或 C）。

b）　环境温度或管壳温度（T_a 或 T_c）。

c）　反向峰值功率额定值，P_{RRM}或 P_{RSM}。

d）　检验 P_{RSM}时，反向电流脉冲持续时间 t_w。

e）　检验 P_{RRM}时：

——每脉冲持续时间 t_w；

——占空比 δ；

——脉冲数。

f）　试验后的测量极限。

对于方法 A，还应规定：

反向电流上升率最小值（di_R/dt）。

7.3.4　管壳不破裂峰值电流

目的：

在规定条件下，检验整流二极管的管壳不破裂峰值电流额定值。

电路图和试验电流波形：

管壳不破裂峰值电流的测试电路示于图 36。通过受试器件的反向电流 i_R 波形示于图 37。

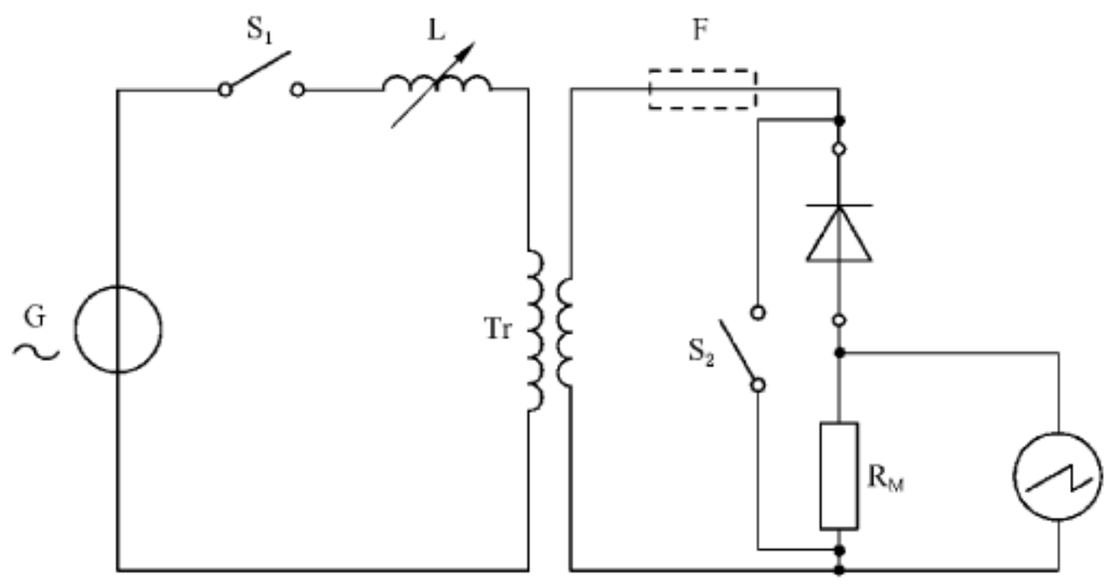


图 36　管壳不破裂峰值电流的测试电路

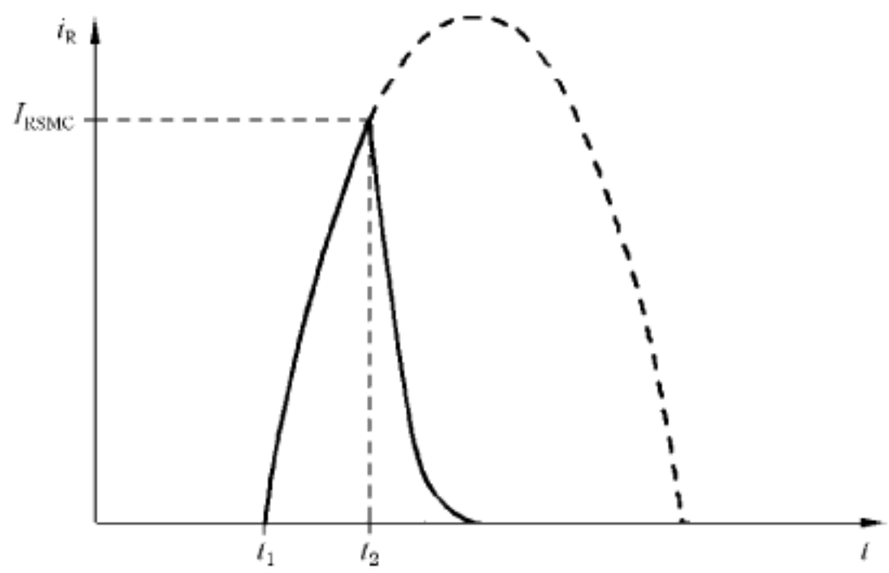


图 37　通过受试器件的反向电流 i_R 波形

电路说明和要求：

G　——具有适当短路能力的交流系统；

S_1，S_2——在规定的电网电压周期瞬间能动作的大功率机电开关或大功率电子开关；

F　——代替 S_2 的熔断器(见试验程序)；

L　——可变电感器；

T_r　——大功率变压器；

R_M　——校准过的电流测量无感电阻器；

D　——受试二极管。

试前处理和初始测量：

试验前，受试器件应作初始损伤处理，例如用低能量高电压脉冲或机械方法处理，以使击穿总是发生在硅芯片的边缘。

注：如要求，机械损伤应在器件密封前进行。

受试器件进行初始检漏试验，泄漏率应低于 10^{-7} Pa·m³/s(10^{-6} bar·cm³/s)。

试验程序：

受试器件接入试验装置中。

在 t_1 瞬间闭合开关 S_1，使电压施加到受试器件的反向上，并在预先损伤的点发生击穿。由此，反向电流急剧上升，其上升率可用改变电感器 L 来调整(在适当的范围内)。

在 t_2 瞬间闭合开关 S_2，以限制峰值电流为规定值 I_{RM}。

另外，可在电路中接入熔断器 F，当熔断器动作时，便可切断通过受试器件的电流。

规定下列条件的数值：

a)　管壳温度或基准点温度(T_c 或 T_r)；

b)　管壳不破裂峰值电流值 I_{RM}；

c) 反向电流上升率，优先 25 A/μs；

d) 试验电流脉冲的持续时间。

试验后测量：

受试器件进行检漏试验，泄漏率应低于 10^{-7} Pa·m^3/s(10^{-6} bar·cm^3/s)。

另外，在电试验期间可采用等离子检测器件，以确信试验期间即使出现细小的裂纹也没有等离子体逸出。

电试验后，目检受试器件，应既无粒子脱落迹象，也无器件外部熔化或燃烧的痕迹。

7.4 电耐久性试验

适用于 GB/T 17573—1998 第Ⅷ篇的第 3 节的第 2 章。

7.4.1 耐久性试验表

对于整流二极管，在表 3 中给出了供选择的各项耐久性试验。

7.4.2 耐久性试验条件

试验条件和试验电路列于表 3 中，有关规范应规定适用的试验。

7.4.3 接收试验的失效判据和判定失效的特性

判定失效的特性、失效判据和测量条件列于表 2 中。

注：应按表 2 中所列顺序测量各特性，因为某些失效机理引起的特性变化，可能整个或部分地被其他测量的影响所掩盖。

7.4.4 可靠性试验的判定失效的特性和失效判据

（待定）

7.4.5 试验失误时的程序

当器件由于试验错误（如试验设备故障或测量设备故障、或操作者的错误）而失效时，应在数据记录中记入该失效并说明失效的原因。

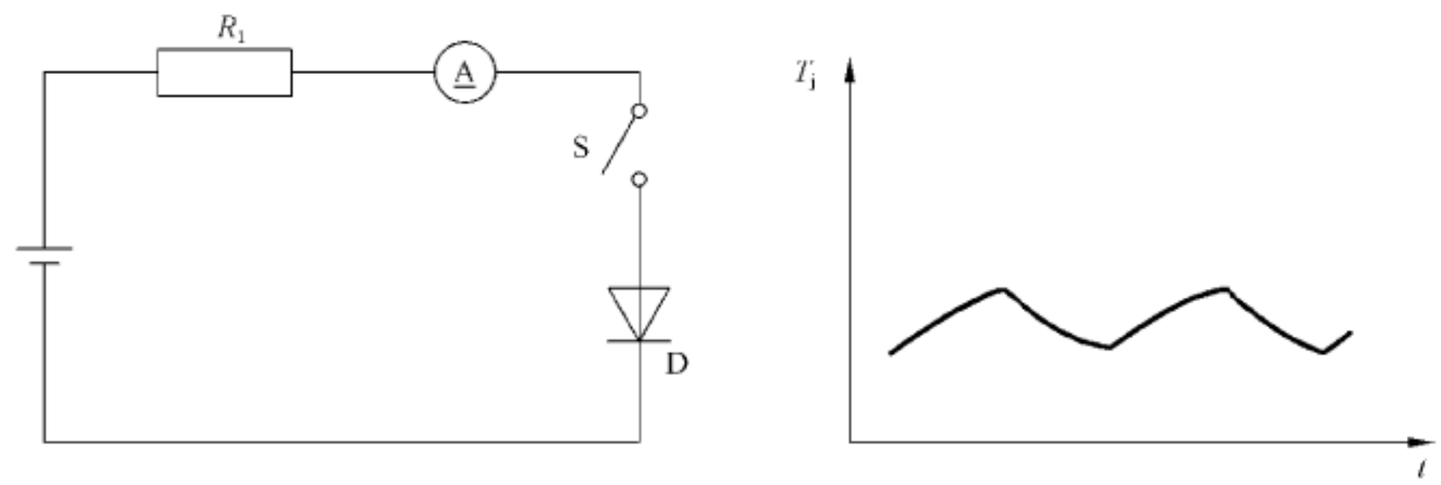
7.4.6 循环负载试验

目的：

用耐久性试验确认某些类型的二极管承受结温波动的能力。

电路图和波形：

热循环负载试验的电路和波形示于图 38。



D——受试二极管。

图 38 热循环负载试验的电路和波形

试验程序：

用规定电流(最好近似等于最大额定正向平均电流)加热二极管，直至结温达到在最高额定等效结温 T_{jmax} 和(T_{jmax}－20 ℃)之间的值。

注：若器件串联试验时，其结温可在 T_{jmax} 和(T_{jmax}－30 ℃)之间。

然后断开开关 S，二极管冷却至不高于 40^{+10}_{0} ℃的等效结温。

加热时间不应超过 6 min，冷却时间不应超过 8 min。

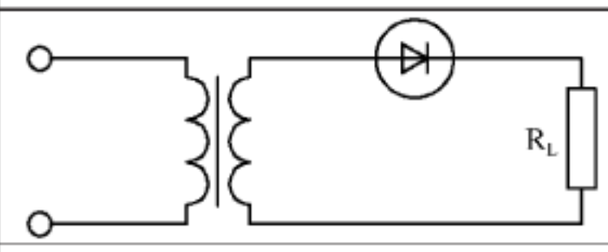
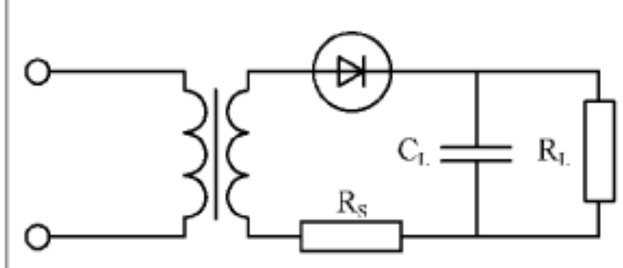
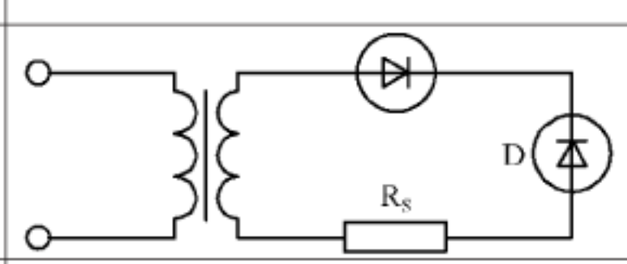
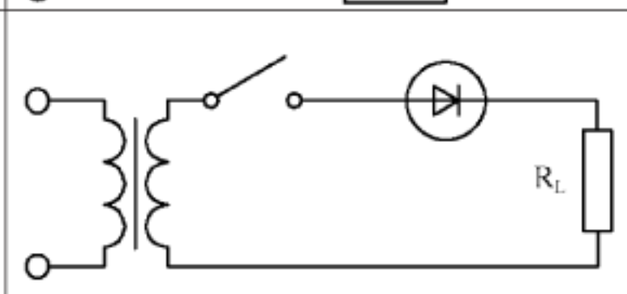
试验应进行规定的循环数。

在试验前后均应测量那些可能受试验影响的参数。

表 2　耐久性试验后，接收时判定失效的特性

判定失效的特性	失效判据	测量条件
I_R	＞2×USL	规定的最高电压 V_R(＝V_{RRM})和最高温度
V_F	＞1.1×USL	规定的最大电流 I_F
注：USL 为规范的上限值。		

表 3　耐久性试验条件

试　验	工　作　条　件			试　验　电　路	备　注
	电　流	电　压	温　度		
工作寿命(电阻性负载)	见 GB/T 17573—1998 第Ⅷ篇第 3 节的 2.1.5	正弦波 50 Hz 或 60 Hz，峰值＝100％V_{RWM}	见 GB/T 17573—1998 第Ⅷ篇第 3 节的 2.1.3		R_L 为负载电阻器[a]
工作寿命(电容性负载)	对于电容性负载，相当于额定正向平均电流	正弦波 50 Hz 或 60 Hz，峰值＝100％V_{RWM}	见 GB/T 17573—1998 第Ⅷ篇第 3 节的 2.1.3		C_L 应具有在有关规范中规定的最大电容值 R_S 为在有关规范中规定的限流电阻器[a] R_L 为负载电阻器
高温交流反向偏置	—	正弦波 50 Hz 或 60 Hz，峰值＝100％V_{RWM}	规定 V_{RWM} 的最高温度		R_S 为限流电阻器[a] D 为阻断二极管
热循环负载试验	I_F(正弦半波 50 Hz 或 60 Hz)应足够大，以使器件加热到 T_{jmax}[b]	取决于 I_F 和 R_L	T_c＝25 ℃		R_L 应近似等于受试二极管的等效电阻
[a] 也可采用模拟电路。 [b] 见 7.4.6。					

附　录　A
（资料性附录）
随时间变化负载温升的计算

半导体器件的负载能力取决于结温的热特性。可用瞬态热阻抗来计算由单脉冲负载或间歇负载所引起的等效结温的温升(以下简称等效温升)。瞬态热阻抗以式(A.1)给出：

$$Z_{th}(t)=\frac{\Delta T_j(t)}{P} \qquad \cdots\cdots(A.1)$$

其定义是，由阶跃函数变化的耗散功率 P 所引起的等效温升 $\Delta T_j(t)$，此定义只有当负载电流也是阶跃函数变化时方为正确。如果脉冲波形不是矩形，则可采用如图 A.1 所示的阶梯形近似。

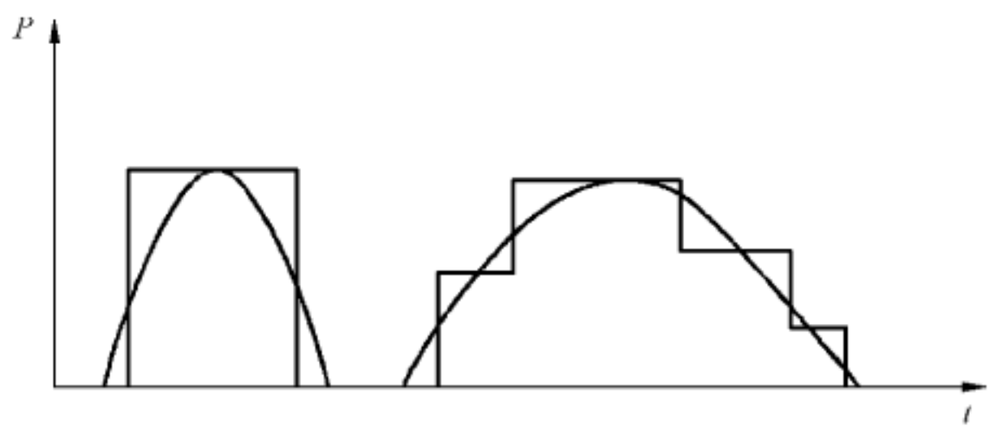


图 A.1　非矩形脉冲的阶梯形近似

可用下列两种方法计算等效温升 $\Delta T_j(t)$：

——方法 A：用瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$，由式(A.2)计算：

$$\Delta T_j(t)=P\times Z_{th}(t) \qquad \cdots\cdots(A.2)$$

——方法 B：用分析函数，由式(A.3)计算：

$$\Delta T_j(t)=P\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t/\tau_i}) \qquad \cdots\cdots(A.3)$$

用 R_i 和 τ_i 取适当值的若干项的总和来表示瞬态热阻抗。

表示带有冷却装置的半导体器件瞬态热阻抗，n 取 3～6 即可满足。

如下列典型情形所示，采用方法 A 便于计算由单脉冲引起的温升。对于较复杂的问题，如在无限脉冲序列和变参数情况或更精确计算时，采用方法 B 更为合适。

全部计算均以单脉冲负载的热响应叠加为基础，取耗散功率的向上阶跃为正，向下阶跃为负。

以下给出几个典型情形：

a)　矩形脉冲(见图 A.2)

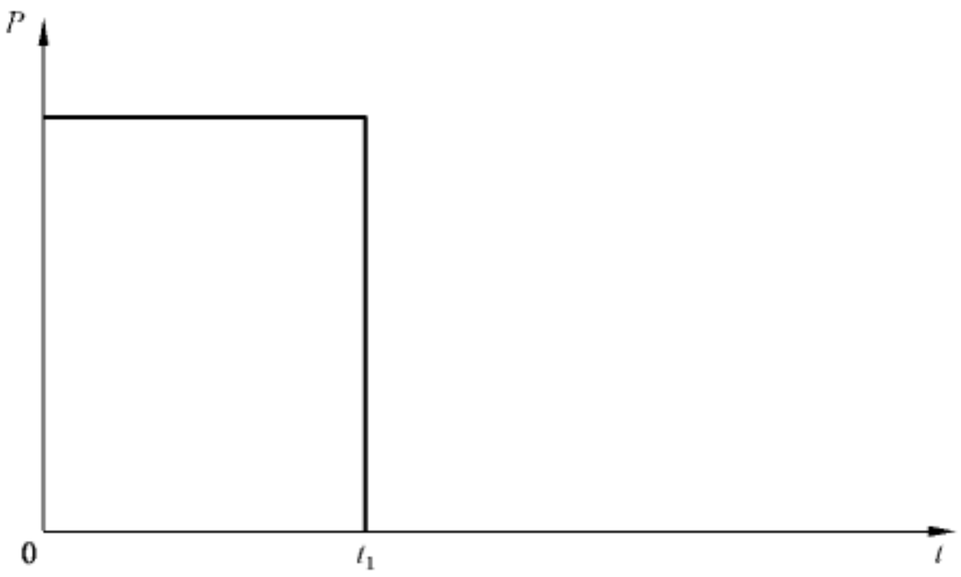


图 A.2　半导体器件内产生耗散功率 P、持续时间为 t_1 的矩形脉冲

方法 A：

在时间 t_1 时的等效温升由式(A.4)计算：

$$\Delta T_j(t_1)=P\times Z_{th}(t_1) \qquad \cdots\cdots(A.4)$$

冷却期间，在时间 $t_2\geqslant t_1$ 时的等效温升由式(A.5)计算：

$$\Delta T_j(t_2)=P\times[Z_{th}(t_2)-Z_{th}(t_2-t_1)] \qquad \cdots\cdots(A.5)$$

由图 A.3 所示的曲线取 $Z_{th}(t_1)$、$Z_{th}(t_2)$和 $Z_{th}(t_2-t_1)$的值。

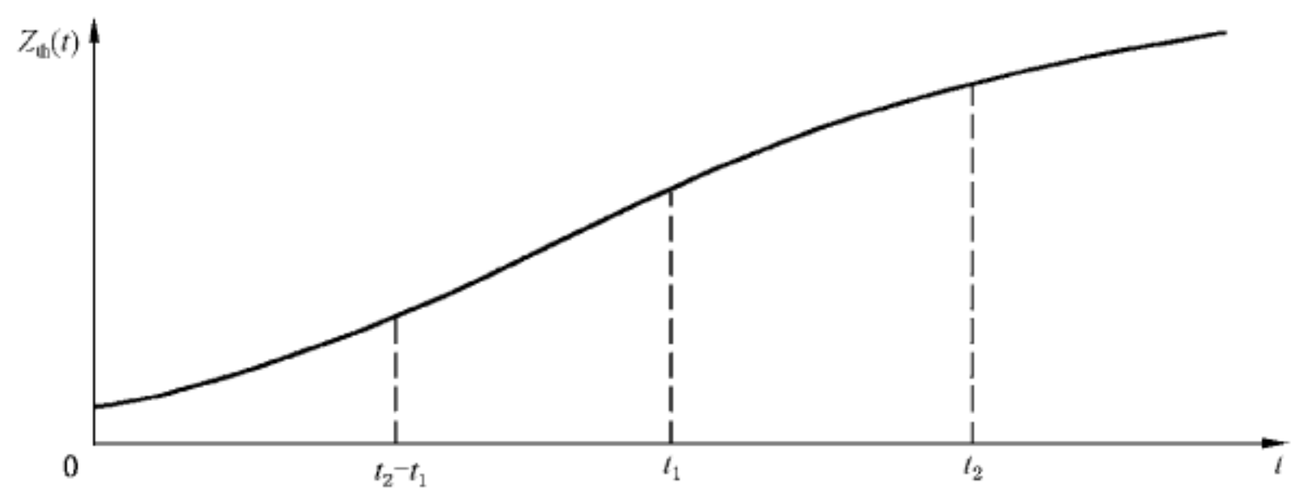


图 A.3　瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$与时间的关系

方法 B：

在时间 t_1 时的等效温升由式(A.6)计算：

$$\Delta T_j(t_1)=P\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_1/\tau_i}) \qquad \cdots\cdots(A.6)$$

冷却期间，在时间 $t_2\geqslant t_1$ 时的等效温升由式(A.7)计算：

$$\Delta T_j(t_2)=P\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_1/\tau_i})\times e^{-(t_2-t_1)/\tau_i} \qquad \cdots\cdots(A.7)$$

式(A.7)可变换为式(A.8)：

$$\Delta T_j(t_2)=P\left\{\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_2/\tau_i})-\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_2-t_1)/\tau_i})\right\} \qquad \cdots\cdots(A.8)$$

所得结果与方法 A 的结果一致。

b)　脉冲单序列(见图 A.4)

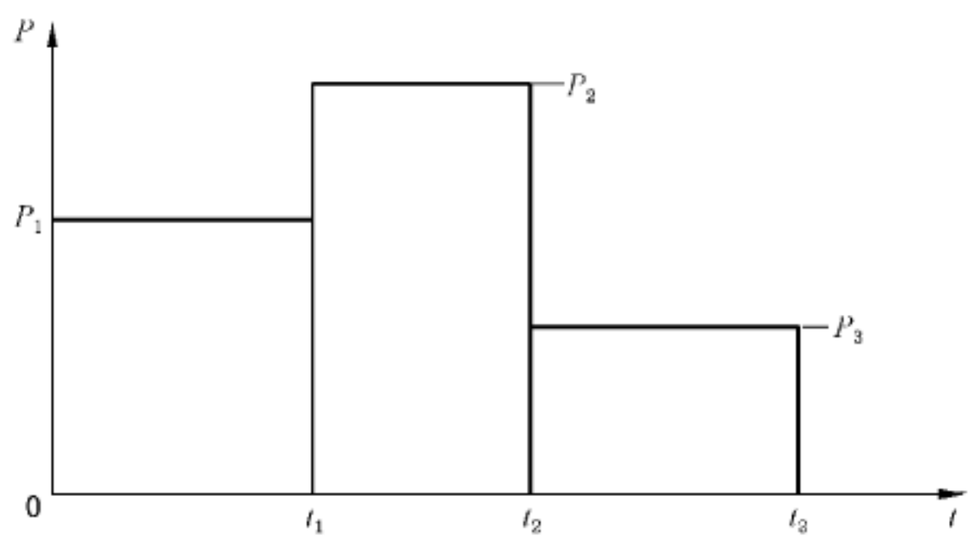


图 A.4　三个矩形脉冲单序列

由 a)给出了在时间 t_1、t_2 和 t_3 时的计算，得出下列等效温升的结果：

方法 A

在时间 t_1、t_2 和 t_3 时的等效温升分别由式(A.9)～式(A.11)计算：

$$\Delta T_j(t_1)=P_1\times Z_{th}(t_1) \qquad \cdots\cdots(A.9)$$

$$\Delta T_j(t_2)=P_1\times Z_{th}(t_2)+(P_2-P_1)\times Z_{th}(t_2-t_1) \qquad \cdots\cdots(A.10)$$

$$\Delta T_j(t_3)=P_1\times Z_{th}(t_3)+(P_2-P_1)\times Z_{th}(t_3-t_1)+(P_3-P_2)\times Z_{th}(t_3-t_2) \qquad \cdots\cdots(A.11)$$

方法 B

在时间 t_1、t_2 和 t_3 时的等效温升分别由式(A.12)～式(A.14)计算：

$$\Delta T_j(t_1)=P_1\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_1/\tau_i}) \quad \cdots\cdots(A.12)$$

$$\Delta T_j(t_2)=P_1\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_2/\tau_i})+(P_2-P_1)\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_2-t_1)/\tau_i}) \quad \cdots\cdots(A.13)$$

$$\Delta T_j(t_3)=P_1\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_3/\tau_i})+(P_2-P_1)\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_3-t_1)/\tau_i})+$$
$$(P_3-P_2)\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_3-t_2)/\tau_i}) \quad \cdots\cdots(A.14)$$

方法 A 和方法 B 得出相同的结果。

当 $P_2=0$(在 t_2-t_1 间隔时间为空载)时，其结果仍然正确。

对于任何 Q 个矩形脉冲序列(即图 A.4 的连续序列)，则得出：

对于方法 A，有式(A.15)：

$$\Delta T_j(t_Q)=\sum_{q=1}^{Q}(P_q-P_{q-1})\times Z_{th}\times(t_Q-t_{q-1}) \quad \cdots\cdots(A.15)$$

对于方法 B，有式(A.16)：

$$\Delta T_j(t_Q)=\sum_{q-1}^{Q}(P_q-P_{q-1})\sum_{i-1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_Q-t_{q-1})/\tau_i}) \quad \cdots\cdots(A.16)$$

其中：$P_0=0$，$t_0=0$。

c) 相同脉冲的周期序列(见图 A.5)

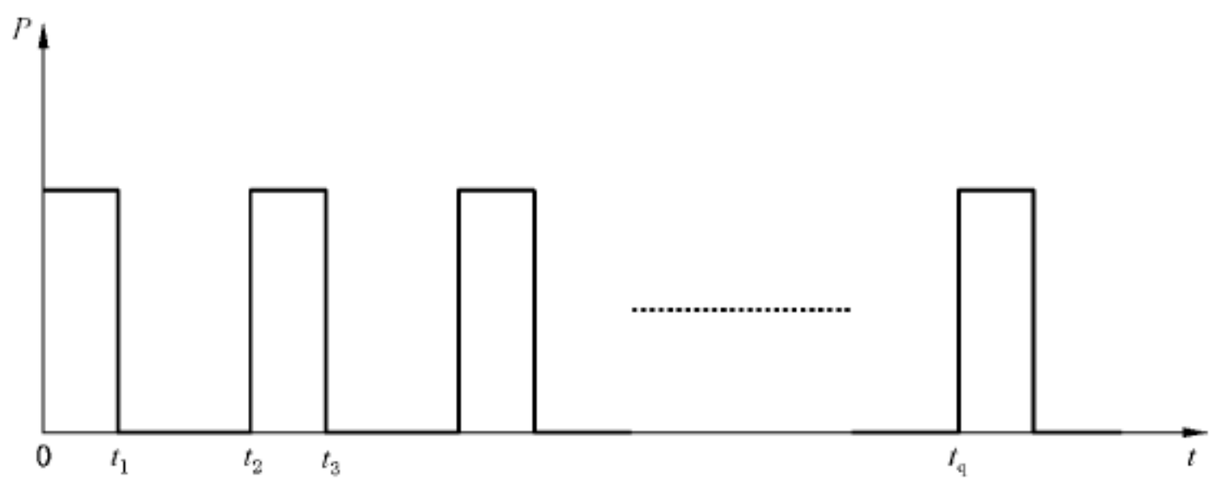


图 A.5 相同脉冲的周期序列

方法 A：

推荐一个近似方法。先由式(A.17)计算平均耗散功率($P\times t_1/t_2$)产生的平均温升 ΔT_{jm}：

$$\Delta T_{jm}=\frac{t_1}{t_2}\times P\times Z_{th}(t_\infty) \quad \cdots\cdots(A.17)$$

由式(A.18)计算两个相邻脉冲的温升 $\Delta T_j(t_3)$：

$$\Delta T_j(t_3)=(1-t_1/t_2)\times P\times Z_{th}(t_2+t_1)-P\times Z_{th}(t_2)+P\times Z_{th}(t_1) \quad \cdots\cdots(A.18)$$

其总和由式(A.19)计算：

$$\Delta T_j=\Delta T_{jm}+\Delta T_j(t_3) \quad \cdots\cdots(A.19)$$

若满足下列条件之一，则得出一好的近似：

1) $Z_{th}(t_1)\geqslant 0.5Z_{th}(t_\infty)$；

2) $Z_{th}(t_2)-Z_{th}(t_1)\leqslant 0.1Z_{th}(t_\infty)$。

方法 B：

在第 q 个脉冲结束时的温升由式(A.20)准确计算：

$$\Delta T_j(t_q)=P\sum_{i=1}^{n}R_i\times\frac{1-e^{-t_1/\tau_i}}{1-e^{-t_2/\tau_i}}\times(1-e^{-q\times t_2/\tau_i}) \quad \cdots\cdots(A.20)$$

对于稳态，即当 q 趋于无穷大时（总是适合在脉冲结束时），其温升由式(A.21)计算：

$$\Delta T_j=P\sum_{i=1}^{n}R_i\times\frac{1-e^{-t_1/\tau_i}}{1-e^{-t_2/\tau_i}} \quad \cdots\cdots(A.21)$$

d） 不同脉冲的周期序列（见图 A.6）

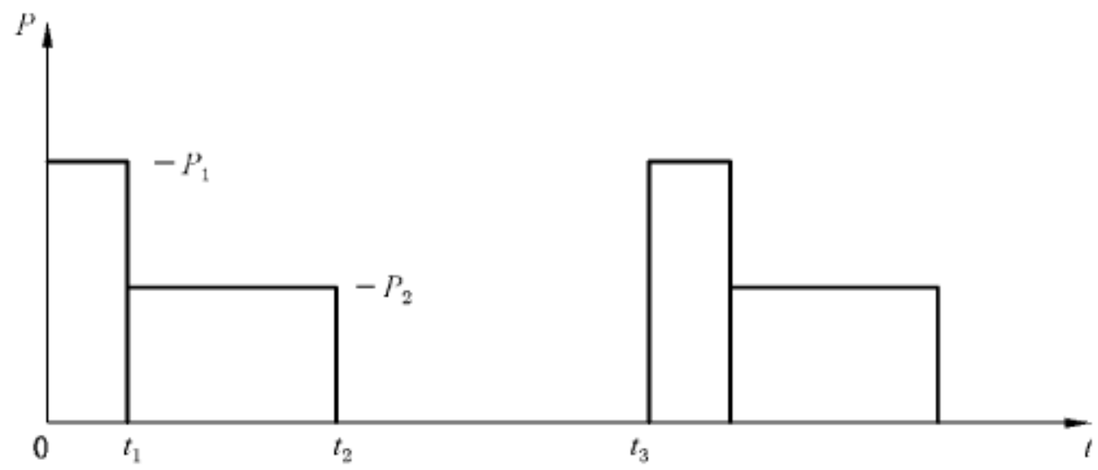


图 A.6 每组两个不同脉冲的周期序列

方法 A：

推荐类似于 c)的近似方法。先由式(A.22)计算平均温升：

$$\Delta T_{jm}=\frac{1}{t_3}\times[t_1\times P_1+(t_2-t_1)\times P_2]\times Z_{th}(t_\infty) \quad \cdots\cdots(A.22)$$

由式(A.23)计算温升 $\Delta T_j(t_3+t_2)$：

$$\begin{aligned}\Delta T_j(t_3+t_2)=&\left\{P_1-\frac{1}{t_3}\times[t_1\times P_1+(t_2-t_1)\times P_2]\right\}\times Z_{th}(t_3+t_2)-\\&(P_1-P_2)\times Z_{th}(t_3+t_2-t_1)-P_2\times Z_{th}(t_3)+\\&P_1\times Z_{th}(t_2)-(P_1-P_2)\times Z_{th}(t_2-t_1)\end{aligned} \quad \cdots\cdots(A.23)$$

则总和由式(A.24)计算：

$$\Delta T_j=\Delta T_{jm}+\Delta T_j(t_3+t_2) \quad \cdots\cdots(A.24)$$

方法 B：

在第 q 个序列时的温升由式(A.25)准确计算：

$$\begin{aligned}\Delta T_j(q\times t_3)=&P_1\sum_{i=1}^{n}R_i\times\frac{(1-e^{-t_1/\tau_i})\times e^{-(t_2-t_1)/\tau_i}}{1-e^{-t_3/\tau_i}}\times(1-e^{-q\times t_3/\tau_i})+\\&P_2\sum_{i=1}^{n}R_i\times\frac{1-e^{-(t_2-t_1)/\tau_i}}{1-e^{-t_3/\tau_i}}\times(1-e^{-q\times t_3/\tau_i})\end{aligned} \quad \cdots\cdots(A.25)$$

对于稳态，即当 q 趋于无穷大时（总是适合在第二个脉冲结束时），其温升由式(A.26)计算：

$$\Delta T_j=P_1\sum_{i=1}^{n}R_i\times\frac{(1-e^{-t_1/\tau_i})\times e^{-(t_2-t_1)/\tau_i}}{1-e^{-t_3/\tau_i}}+P_2\sum_{i=1}^{n}R_i\times\frac{1-e^{-(t_2-t_1)/\tau_i}}{1-e^{-t_3/\tau_i}} \quad \cdots\cdots(A.26)$$

e） 附加叠加

对于上述 a)～d)，附加叠加是可能的。

1） 稳态负载：在此情况下，将计算出的温升 ΔT_j 叠加到由式(A.27)计算的稳态温升 ΔT_{jst} 上：

$$\Delta T_{jst}=P_{st}\times Z_{th}(t_\infty)=P_{st}\sum_{i=1}^{n}R_i \quad \cdots\cdots(A.27)$$

式中：

P_{st}——稳态负载。

总温升由式(A.28)计算：

$$\Delta T_{jst} + \Delta T_j \qquad \cdots\cdots(A.28)$$

2) 脉冲负载：每个负载脉冲可包含较高频率(如行频)的脉冲序列。在此情形下，等效温度产生额外波动。计算该温度波动的最大值，需要计算一附加项。此项可由 c)得出。

方法 A：

需要计算的项按 c)中计算 $\Delta T_j(t_3)$的方法。

方法 B：

常量 R_i 可用由式(A.29)计算的 R'_i来代替：

$$R'_i = R_i \times \frac{1 - e^{-t_1/\tau_i}}{1 - e^{-t_2/\tau_i}} \qquad \cdots\cdots(A.29)$$

式中：

t_1——脉冲持续时间；

t_2——较高频率的重复率的倒数。

几种典型负载时等效结温升的计算公式见表 A.1。

表 A.1　几种典型负载时等效结温升的计算公式

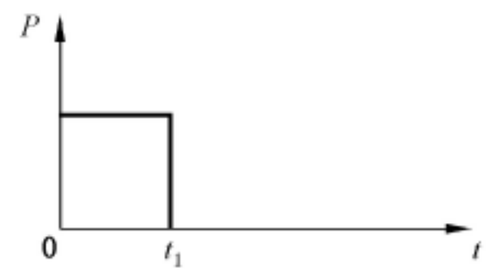
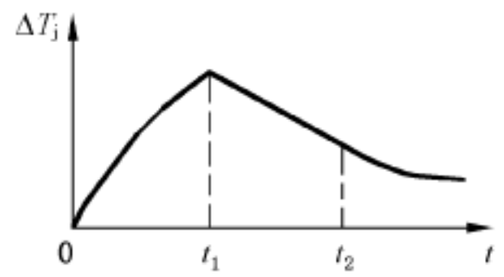
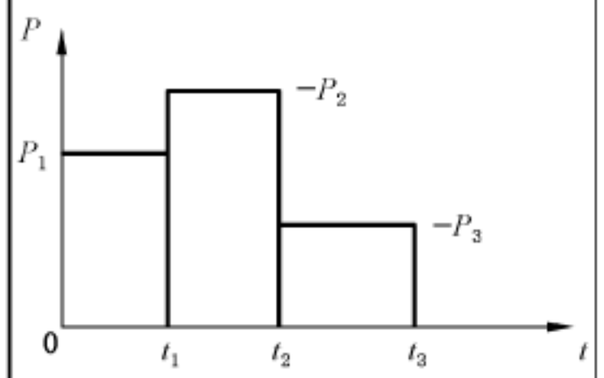
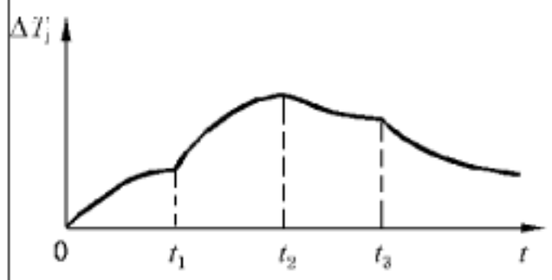
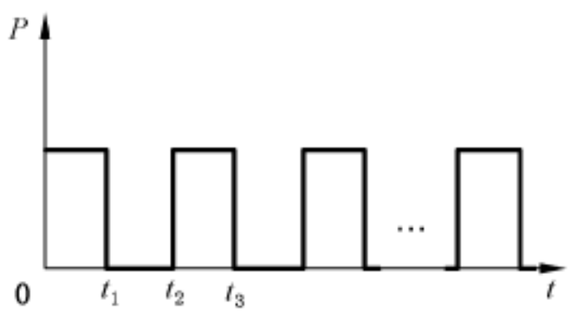
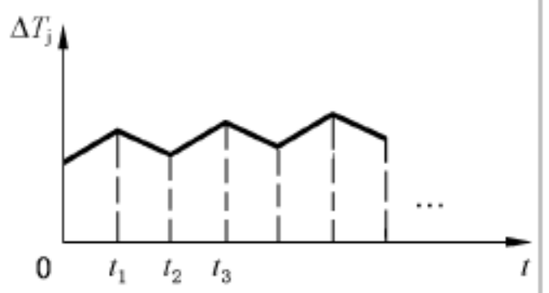
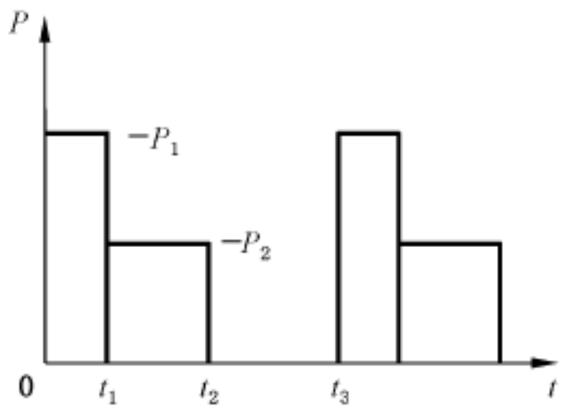
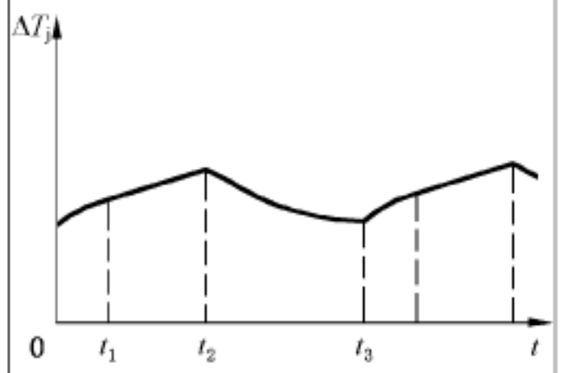
负　载　条　件	热　响　应	计　算　方　法	
		方　法　A	方　法　B
1. 单脉冲  	 	$\Delta T_j(t_1)=P\times Z_{th}(t_1)$ $\Delta T_j(t_2)=P\times[Z_{th}(t_2)-Z_{th}(t_2-t_1)]$	$\Delta T_j(t_1)=P\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_1/\tau_i})$ $\Delta T_j(t_2)=P\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_2/\tau_i})-$ $P\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t2-t_1)/\tau_i})$
2. 三个脉冲的单序列  Q 个脉冲的单序列 $P_0=0$　　$t_0=0$	 	$\Delta T_j(t_1)=P_1\times Z_{th}(t_1)$ $\Delta T_j(t_2)=P_1\times Z_{th}(t_2)+$ $(P_2-P_1)\times Z_{th}(t_2-t_1)$ $\Delta T_j(t_3)=P_1\times Z_{th}(t_3)+$ $(P_2-P_1)\times Z_{th}(t_3-t_1)+$ $(P_3-P_2)\times Z_{th}(t_3-t_2)$ $\Delta T_j(t_Q)=\sum_{q=1}^{Q}(P_q-P_{q-1})\times Z_{th}\times(t_Q-t_{q-1})$ $\Delta T_j(t_Q)=\sum_{q=1}^{Q}(P_q-P_{q-1})\times Z_{th}\times(t_Q-t_{q-1})$	$\Delta T_j(t_1)=P_1\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_1/\tau_i})$ $\Delta T_j(t_2)=P_1\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_2/\tau_i})+$ $(P_2-P_1)\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_2-t_1)/\tau_i})$ $\Delta T_j(t_3)=P_1\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-t_3/\tau_i})+$ $(P_2-P_1)\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_3-t_1)/\tau_i})+$ $(P_3-P_2)\sum_{i=1}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_3-t_2)/\tau_i})$ $\Delta T_j(t_Q)=\sum_{q=1}^{Q}(P_q-P_{q-1})$ $\sum_{i=0}^{n}R_i\times(1-e^{-(t_Q-t_{q-1})/\tau_i})$

表 A.1（续）

负载条件	热响应	计算方法	
		方法 A	方法 B
3. 相同脉冲的周期序列 		$\Delta T_j = \Delta T_{jm} + \Delta T_j(t_3)$ $\Delta T_{jm} = \frac{t_1}{t_2} P \times Z_{th}(t_\infty)$ $\Delta T_j(t_3) = (1 - t_1/t_2) \times P \times Z_{th}(t_2 + t_1) - P \times Z_{th}(t_2) + P \times Z_{th}(t_1)$	$\Delta T_j = P \sum_{i=1}^{n} R_i \times \frac{1 - e^{-t_1/\tau_i}}{1 - e^{-t_2/\tau_i}}$
4. 每组两个不同脉冲的周期序列 		$\Delta T_j = \Delta T_{jm} + \Delta T_j(t_3 + t_2)$ $\Delta T_{jm} = \frac{1}{t_3} \times [t_1 \times P_1 + (t_2 - t_1) \times P_2] \times Z_{th}(t_\infty)$ $\Delta T_j(t_3 + t_2) = \left\{P_1 - \frac{1}{t_3}[t_1 \times P_1 + (t_2 - t_1) \times P_2]\right\} \times Z_{th}(t_3 + t_2) - (P_1 - P_2) \times Z_{th}(t_3 + t_2 - t_1) - P_2 \times Z_{th}(t_3) + P_1 \times Z_{th}(t_2) - (P_1 - P_2) \times Z_{th}(t_2 - t_1)$	$\Delta T_j = P_1 \sum_{i=1}^{n} R_i \times \frac{(1 - e^{-t_1/\tau_i}) \times e^{-(t_2 - t_1)/\tau_i}}{1 - e^{-t_3/\tau_i}} + P_2 \sum_{i=1}^{n} R_i \times \frac{1 - e^{-(t_2 - t_1)/\tau_i}}{1 - e^{-t_3/\tau_i}}$

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
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 4023—2015/IEC 60747-2:2000
*
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.gb168.cn
服务热线:400-168-0010
010-68522006
2016 年 2 月第一版
*
书号:155066·1-52445

版权专有 侵权必究

GB/T 4023-2015