



中华人民共和国国家标准

GB/T 15291—2015/IEC 60747-6:2000
代替 GB/T 15291—1994

半导体器件 第 6 部分：晶闸管

Semiconductor devices—Part 6: Thyristors

(IEC 60747-6:2000, 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	IX
引言	XI
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 晶闸管的类型	2
3.2 三极晶闸管静态电压-电流特性的基本术语	5
3.3 二极晶闸管静态电压-电流特性的基本术语	6
3.4 三极晶闸管和二极晶闸管静态电压-电流特性(见图 1、图 2)	7
3.5 额定值和特性的术语:主电压	7
3.6 额定值和特性的术语:主电流	10
3.7 额定值和特性的术语:门极电压,门极电流	14
3.8 额定值和特性的术语:功率,能量	17
3.9 额定值和特性的术语:恢复时间和其他特性	21
4 文字符号	28
4.1 通则	28
4.2 附加的通用下标	28
4.3 文字符号表	28
4.3.1 主电压,阳极-阴极电压(参见图 15)	29
4.3.2 主电流,阳极电流,阴极电流(参见图 16)	30
4.3.3 门极电压	31
4.3.4 门极电流	31
4.3.5 时间量	31
4.3.6 其他量	32
4.3.7 损耗功率	32
5 反向阻断三极晶闸管和反向导通三极晶闸管的基本额定值和特性	32
5.1 热条件	32
5.1.1 推荐温度	33
5.1.2 额定条件	33
5.2 电压和电流额定值(极限值)	33
5.2.1 反向不重复峰值电压(V_{RSM})	33
5.2.2 反向重复峰值电压(V_{RRM})	33
5.2.3 反向工作峰值电压(V_{RWM})(适用时)	33
5.2.4 反向直流电压(V_R)(适用时)	33
5.2.5 断态不重复峰值电压(V_{DSM})	33
5.2.6 断态重复峰值电压(V_{DRM})	33
5.2.7 断态工作峰值电压(V_{DWM})(适用时)	33

5.2.8	断态直流电压(V_{DC})(适用时)	34
5.2.9	门极正向峰值电压(阳极相对于阴极为正)(V_{FGM})	34
5.2.10	门极正向峰值电压(阳极相对于阴极为负)(V_{FGM})	34
5.2.11	门极反向峰值电压(V_{RGM})(适用时)	34
5.2.12	通态平均电流($I_{T(AV)}$)	34
5.2.13	通态重复峰值电流(I_{TRM})(适用时)	34
5.2.14	通态方均根电流($I_{T(RMS)}$)(适用时)	34
5.2.15	通态过载电流($I_{T(OV)}$)(适用时)	34
5.2.16	通态浪涌电流(I_{TSM})	35
5.2.17	通态直流电流($I_{T(D)}$)(适用时)	35
5.2.18	较高频率正弦波通态峰值电流(I_{TRM})(适用时)	35
5.2.19	较高频率梯形波通态峰值电流(I_{TRM})(适用时)	36
5.2.20	通态电流临界上升率(di/dt)	37
5.2.21	管壳不破裂峰值电流(I_{RSMC})	37
5.2.22	门极正向峰值电流(I_{FGM})	38
5.3	其他额定值(极限值)	38
5.3.1	频率额定值	38
5.3.2	门极损耗峰值功率(P_{GM})	38
5.3.3	环境额定和管壳额定的晶闸管	38
5.3.4	贮存温度(T_{sig})	38
5.3.5	等效结温(T_j)(适用时)	38
5.4	电特性	38
5.4.1	通态特性(适用时)	38
5.4.2	通态电压(V_T)	38
5.4.3	维持电流(I_H)	39
5.4.4	擎住电流(I_L)	39
5.4.5	断态重复峰值电流(I_{DRM})	39
5.4.6	反向重复峰值电流(I_{RRM})	39
5.4.7	门极触发电流和门极触发电压(I_{GT}, V_{GT})	39
5.4.8	门极不触发电流和门极不触发电压(I_{GD}, V_{GD})	39
5.4.9	门极控制延迟时间(t_{gd})	40
5.4.10	电路换向关断时间(t_q)	40
5.4.11	断态电压临界上升率(dv/dt)	41
5.4.12	总损耗功率(P_{tot})	41
5.4.13	恢复电荷(Q_r)(适用时),见图 24	43
5.4.14	反向恢复峰值电流(I_{RM})(适用时),见图 24	43
5.4.15	反向恢复时间(t_{rr})(适用时),见图 24	43
5.5	热特性	43
5.5.1	结-环境热阻($R_{th(j-a)}$)	43
5.5.2	结-管壳热阻($R_{th(j-c)}$)	43
5.5.3	管壳-散热器热阻($R_{th(c-h)}$)	44
5.5.4	结-散热器热阻($R_{th(j-h)}$)	44
5.5.5	结-环境瞬态热阻抗($Z_{th(j-a)}$)	44

5.5.6	结-管壳瞬态热阻抗($Z_{th(j-c)}$)	44
5.5.7	结-散热器瞬态热阻抗($Z_{th(j-h)}$)	44
5.6	机械特性和其他数据	44
5.7	应用资料	44
6	双向三极晶闸管的基本额定值和特性	44
6.1	热条件	44
6.1.1	推荐温度	44
6.1.2	额定条件	44
6.2	电压和电流额定值(极限值)	45
6.2.1	断态不重复峰值电压(V_{DSM})	45
6.2.2	断态重复峰值电压(V_{DRM})	45
6.2.3	断态工作峰值电压(V_{DWM})	45
6.2.4	正门极峰值电压(V_{FGM})	45
6.2.5	负门极峰值电压(V_{RGM})	45
6.2.6	通态方均根电流($I_{T(RMS)}$)	45
6.2.7	通态重复峰值电流(I_{TRM})(适用时)	45
6.2.8	通态过载电流($I_{T(OV)}$)	45
6.2.9	通态浪涌电流(I_{TSM})	45
6.2.10	通态电流临界上升率(di/dt)	46
6.2.11	门极电流	46
6.3	其他额定值(极限值)	46
6.3.1	频率额定值	46
6.3.2	门极平均功率($P_{G(AV)}$)	46
6.3.3	门极峰值功率(P_{GM})	46
6.3.4	环境额定和管壳额定的双向三极晶闸管	46
6.3.5	贮存温度(T_{stg})	47
6.3.6	等效结温(T_j)	47
6.4	电特性(除另有说明外,在环境温度或管壳温度 25 °C 时)	47
6.4.1	通态特性(适用时)	47
6.4.2	通态电压(V_T)	47
6.4.3	维持电流(I_H)	47
6.4.4	擎住电流(I_L)	47
6.4.5	断态重复峰值电流(I_{DRM})	47
6.4.6	断态电压临界上升率(dv/dt)	47
6.4.7	换向电压临界上升率($dv/dt(c)$)	48
6.4.8	门极触发电流和门极触发电压(I_{GT}, V_{GT})	48
6.4.9	门极不触发电流和门极不触发电压(I_{GD}, V_{GD})	48
6.4.10	门极控制开通延迟时间(t_{gd})	49
6.4.11	总损耗功率(P_{tot})	49
6.5	热特性	49
6.5.1	结-环境热阻($R_{th(j-a)}$)	49
6.5.2	结-管壳热阻($R_{th(j-c)}$)	49
6.5.3	管壳-散热器热阻($R_{th(c-h)}$)	49

6.5.4	结-散热器热阻($R_{th(j-h)}$)	49
6.5.5	结-环境瞬态热阻抗($Z_{th(j-a)}$)	50
6.5.6	结-管壳瞬态热阻抗($Z_{th(j-e)}$)	50
6.5.7	结-散热器瞬态热阻抗($Z_{th(j-h)}$)	50
6.6	机械特性和其他数据	50
6.7	应用资料	50
7	门极关断晶闸管(GTO 晶闸管)的基本额定值和特性	50
7.1	热条件	50
7.1.1	推荐温度	50
7.1.2	额定条件	50
7.2	电压和电流的额定值(极限值)	50
7.2.1	反向不重复峰值电压(V_{RSM})	50
7.2.2	反向重复峰值电压(V_{RRM})	51
7.2.3	反向直流电压($V_{R(D)}$)(适用时)	51
7.2.4	断态不重复峰值电压(V_{DSM})(适用时)	51
7.2.5	断态重复峰值电压(V_{DRM})	51
7.2.6	断态直流电压($V_{D(D)}$)(适用时)	51
7.2.7	门极关断电压(V_{RG})	51
7.2.8	通态可控不重复峰值电流(I_{TQSM})	51
7.2.9	通态可控重复峰值电流(I_{TQRM})	51
7.2.10	通态方均根电流($I_{T(RMS)}$)(适用时)	51
7.2.11	短时和间断的工作电流	52
7.2.12	通态浪涌电流(I_{TSM})	52
7.2.13	通态电流临界上升率(di/dt)	52
7.3	其他额定值(极限值)	52
7.3.1	门极正向峰值功率(P_{FGM})	52
7.3.2	等效结温(T_j)	52
7.3.3	贮存温度(T_{sig})	52
7.3.4	具有焊接端子的 GTO 晶闸管允许的最高焊接温度(T_{sld})	52
7.3.5	安装力矩(螺栓形器件的)(M)	53
7.3.6	紧固力(平板形器件的)(F)	53
7.4	电特性	53
7.4.1	通态电压(V_T)	53
7.4.2	门槛电压($V_{T(TO)}$)	53
7.4.3	通态斜率电阻(r_T)	53
7.4.4	维持电流(I_H)	53
7.4.5	擎住电流(I_L)	53
7.4.6	断态电压临界上升率(dv/dt)	53
7.4.7	门极维持电流(I_{FGsus})	53
7.4.8	尾部峰值电流(I_{ZM})	53
7.4.9	门极触发电流和门极触发电压(I_{GT}, V_{GT})	54
7.4.10	门极不触发电流和门极不触发电压(I_{GD}, V_{GD})	54
7.4.11	门极关断峰值电流(I_{RGQM})	54

7.4.12	开通损耗能量(E_{ON})	54
7.4.13	通态损耗能量(E_T)	54
7.4.14	关断损耗能量(E_Q)	55
7.4.15	门极控制开通延迟时间(t_{gd})	55
7.4.16	关断期间各时间间隔	55
7.5	热特性	55
7.5.1	结-环境热阻($R_{th(j-a)}$)	55
7.5.2	结-管壳热阻($R_{th(j-c)}$)	55
7.5.3	结-散热器热阻($R_{th(j-h)}$)	55
7.5.4	结-环境瞬态热阻抗($Z_{th(j-a)}$)	55
7.5.5	结-管壳瞬态热阻抗($Z_{th(j-c)}$)	56
7.5.6	结-散热器瞬态热阻抗($Z_{th(j-h)}$)	56
7.6	机械特性和其他数据	56
8	型式试验和常规试验的要求,晶闸管的标志	56
8.1	型式试验	56
8.2	常规试验	57
8.3	测量和试验方法	57
8.4	晶闸管的标志	57
9	测量和试验方法	57
9.1	电特性的测量方法	57
9.1.1	一般注意事项	57
9.1.2	通态电压(V_T)	58
9.1.3	反向峰值电流(I_{RM})	59
9.1.4	擎住电流(I_L)	60
9.1.5	维持电流(I_H)	61
9.1.6	断态电流(I_D)	62
9.1.7	门极触发电流和(或)门极触发电压(I_{GT}, V_{GT})	63
9.1.8	门极不触发电压和(或)门极不触发电流(V_{GD}, I_{GD})	64
9.1.9	门极控制延迟时间和开通时间(t_d, t_{gt})	65
9.1.10	电路换向关断时间(t_q)	67
9.1.11	断态电压临界上升率(dv/dt)	72
9.1.12	换向电压临界上升率 $dv/dt(c)$	74
9.1.13	恢复电荷和反向恢复时间(Q_r, t_{rr})	79
9.1.14	反向导通晶闸管的电路换向关断时间(t_q)	82
9.1.15	GTO 晶闸管的关断特性	83
9.1.16	一个周期的总损耗能量(快开关晶闸管的)	86
9.2	热特性的测量方法	86
9.2.1	管壳温度的测量	86
9.2.2	热阻(R_{th})和瞬态热阻抗(Z_{th})的测量方法概述	86
9.2.3	方法 A	87
9.2.4	方法 B	89
9.2.5	方法 C(仅用于 GTO 晶闸管)	96

9.2.6	方法 D(热流法)	100
9.3	额定值(极限值)的检验方法	102
9.3.1	反向不重复峰值电压(V_{RSM})	102
9.3.2	断态不重复峰值电压(V_{DSM})	102
9.3.3	通态浪涌电流(I_{TSM})	103
9.3.4	快开关晶闸管的通态电流额定值	105
9.3.5	通态电流临界上升率(di/dt)	113
9.3.6	管壳不破裂峰值电流	115
9.4	耐久性试验	116
9.4.1	耐久性试验表	116
9.4.2	耐久性试验条件	116
9.4.3	接收试验的失效判据和判定失效的特性	116
9.4.4	可靠性试验判定失效的特性和失效判据	116
9.4.5	试验失误时的程序	116
9.4.6	热循环负载试验	117
附录 A	(资料性附录) 随时间变化负载温升的计算	119
图 1	单向晶闸管的静态特性	3
图 2	双向晶闸管的静态特性	3
图 3	晶闸管的反向峰值电压和断态峰值电压	8
图 4	通态峰值电流	12
图 5	门极正向电压与门极正向电流的关系	14
图 6	频率较低时,GTO 晶闸管的各分损耗功率	19
图 7	频率较高时,GTO 晶闸管的动态通态各分损耗能量	21
图 8	特性近似	21
图 9	反向恢复时间	23
图 10	断态恢复时间	23
图 11	电路换向关断时间	24
图 12	门极控制开通时间	24
图 13	门极控制关断时间	26
图 14	恢复电荷 Q_r	27
图 15	断态和反向的各额定电压的文字符号	29
图 16	通态电流各额定值的文字符号	30
图 17	施加在晶闸管上的门极电压	34
图 18	额定最大正弦波通态峰值电流	35
图 19	额定最大梯形波通态峰值电流	36
图 20	门极正向电压与门极正向电流的关系	40
图 21	各种电路条件下晶闸管关断期间的电流和电压波形示例	41
图 22	一个正弦半波通态电流脉冲期间的总损耗能量	42
图 23	一个梯形波通态电流脉冲期间的总损耗能量	42
图 24	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)	43
图 25	门极正向电压与门极正向电流的关系	49

图 26	通态电压的测试电路(直流法)	58
图 27	采用示波器测量瞬时通态电压的测试电路	58
图 28	通态电压的测试电路(脉冲法)	59
图 29	反向峰值电流的测试电路	60
图 30	擎住电流的测试电路	60
图 31	擎住电流的波形	61
图 32	维持电流的测试电路	61
图 33	断态电流的测试电路(直流法)	62
图 34	断态峰值电流的测试电路(示波器法)	63
图 35	门极触发电流和(或)门极触发电压的测试电路	64
图 36	门极不触发电压和(或)门极不触发电流的测试电路	64
图 37	门极控制延迟时间和开通时间的测试电路	65
图 38	测试 t_{gt} 的晶闸管通态电流波形	66
图 39	晶闸管开通时的断态电压和电流的波形	67
图 40	晶闸管关断时的电流和电压的波形	68
图 41	测试 t_{q} 的基本电路	68
图 42	测试 t_{q} 的实用电路	69
图 43	电路换向关断时间的测试电路(另一种方法)	70
图 44	另一种方法测试 t_{q} 的电压和电流波形	71
图 45	断态电压临界上升率的测试电路	73
图 46	电压线性上升的波形	73
图 47	电压指数上升的波形	74
图 48	换向电压临界上升率的测试电路(小电流双向三极晶闸管的)	75
图 49	测试 $dv/dt(c)$ 的电流和电压的波形	76
图 50	换向电压临界上升率的测试电路(大电流双向三极晶闸管的)	77
图 51	具有高、低 di/dt 的波形	77
图 52	恢复电荷和反向恢复时间的测试电路(正弦半波法)	79
图 53	通过晶闸管 T 的电流波形(正弦半波法)	79
图 54	恢复电荷和反向恢复时间的测试电路(矩形波法)	81
图 55	通过晶闸管 T 的电流波形(矩形波法)	81
图 56	反向导通晶闸管的电路换向关断时间的测试电路	82
图 57	反向导通晶闸管的电路换向关断时间的电流和电压波形	82
图 58	GTO 晶闸管的关断特性测试电路	84
图 59	GTO 晶闸管关断期间的电压和电流波形	84
图 60	热阻 R_{th} 的基本测试电路(方法 A)	87
图 61	瞬态热阻抗 $Z_{\text{th}}(t)$ 的基本测试电路(方法 A)	88
图 62	在不同通态电流上叠加基准电流脉冲	89
图 63	损耗功率和等效结温的波形(一般情况)	90
图 64	校准曲线	92
图 65	热阻 R_{th} 的基本测试电路(方法 B)	93
图 66	测量热阻的波形(方法 B)	93
图 67	瞬态热阻抗 $Z_{\text{th}}(t)$ 的基本测试电路(方法 B)	95
图 68	测量瞬态热阻抗的波形(方法 B)	95

图 69	热阻 R_{th} 的基本测试电路(方法 C)	97
图 70	测量热阻的波形(方法 C)	97
图 71	瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 的基本测试电路(方法 C)	98
图 72	测量 GTO 晶闸管瞬态热阻抗的波形(方法 C)	99
图 73	校准和测量装置(热流法)	100
图 74	反向不重复峰值电压的测试电路	102
图 75	断态不重复峰值电压的测试电路	103
图 76	通态(不重复)浪涌电流的测试电路	104
图 77	有反向电压的正弦波通态电流的基本测试电路和试验波形	105
图 78	有反向电压的正弦波通态电流的扩展测试电路	106
图 79	抑制反向电压的正弦波通态电流的基本测试电路和试验波形	107
图 80	抑制反向电压的正弦波通态电流的扩展测试电路	108
图 81	有反向电压的梯形波通态电流的基本测试电路和试验波形	109
图 82	抑制反向电压的梯形波通态电流的基本测试电路和试验波形	111
图 83	通态电流临界上升率的测试电路	113
图 84	di/dt 额定值的通态电流波形	114
图 85	管壳不破裂峰值电流的测试电路	115
图 86	通过受试晶闸管的反向电流 i_R 波形	115
图 87	热循环负载试验的电路和波形	118
图 A.1	非矩形脉冲的阶梯形近似	119
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	119
图 A.3	瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 与时间的关系	120
图 A.4	三个矩形脉冲单序列	120
图 A.5	相同脉冲的周期序列	121
图 A.6	每组两个不同脉冲的周期序列	122
表 1	不同类别晶闸管采用的修饰词	1
表 2	反向阻断三极晶闸管的型式试验和常规试验的最少试验项目	56
表 3	耐久性试验后,接收时判定失效的特性	117
表 4	耐久性试验条件	117
表 A.1	几种典型负载时等效结温升的计算公式	124

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 6 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 15291—1994《半导体器件 第 6 部分：晶闸管》。

本部分与 GB/T 15291—1994 相比主要变化如下：

- 内容结构和采用 IEC 标准的版本、与其一致性程度不同：GB/T 15291—1994 等效采用 IEC 60747-6：1983 和 1991 年第 1 号修订件，内容分为六章和两个附录；本部分等同采用 IEC 60747-6：2000，内容分为九章和一个附录。
- 术语：由 108 个增加到 170 个。增加的 62 个术语，包括晶闸管类型的术语 7 个(新增 10 个，删去 3 个)，另外 55 个术语主要是 GTO 晶闸管的额定值、特性术语。
- 文字符号：额定值和特性的文字符号由 65 个增加到 79 个(主要是反向导通晶闸管和 GTO 晶

闸管的),通用下标由 12 个增加到 21 个。

——基本额定值和特性:增加了反向导通三极晶闸管和 GTO 晶闸管的,删去了双向触发二极晶闸管的。

——测试方法:增加了(快开关晶闸管的)一个周期的总损耗能量、GTO 晶闸管的关断特性、热阻和瞬态热阻抗的方法 B、方法 C、方法 D 等。

——增加了“型式试验和常规试验的要求、晶闸管的标志”一章内容。

——附录 A 的性质由“补充件”(规范性附录)改为“资料性附录”。

——删去了附录 B“反向导通晶闸管的热阻公式和曲线表示(补充件)”。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60747-6:2000《半导体器件 第 6 部分:晶闸管》(英文版)。

本部分做了下列编辑性修改和勘误,勘误处已在其涉及的公式的外侧页边标示垂直双线(||):

——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;

——给不带文字符号的条的标题增加了文字符号(如有);

——将物理量符号全部改为斜体;

——对公式统一编号;

——将断态电压临界上升率的符号改为“(dv_D/dt)_{cr}”;

——将换向电压临界上升率的符号改为“ $dv/dt(c)$ ”;

——给第 9 章中的规定条件增加了文字符号(如有);

——将 9.2.6 计算并联热阻的式(64)的分子中的减号“—”勘误为乘号“×”;

——在 9.3.4.2.1 的式(69)中增加遗漏的“ $\pi\times$ ”;

——在式(A.23)和表 A.1 的 4 的方法 A 中的公式中,最后一个乘积项前的运算符勘误为“—”。

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、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、颜家圣、刘国友、沈首良。

本部分于 1994 年 12 月首次发布,本次为第一次修订。

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

第 6 部分：晶闸管

1 范围

本部分适用于下列各类晶闸管：

- (反向阻断)(三极)晶闸管；
- 不对称(反向阻断)(三极)晶闸管；
- 反向导通(三极)晶闸管；
- 双向三极晶闸管；
- 门极可关断晶闸管(GTO 晶闸管)。

本部分不适用晶闸管浪涌抑制器和双向二极晶闸管。

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。

注 1: 对于单向晶闸管的术语和定义,既可称“阳极”和“阴极”,也可称“主”(电极),见表 1。本部分选择前者,因为后者对 GTO 晶闸管很少适用。相反,对双向三极晶闸管应选择后者,前者不适用。

注 2: 双向二极晶闸管的电流和电压术语的定义采用形容词“晶闸管”,因为基于主电流或主电压意味着还有其他的电流或电压。由于同样的原因,双向二极晶闸管的端名称不采用形容词“主”,见表 1。

表 1 给出了不同类别晶闸管的电压/电流和端可选择的修饰词。

表 1 不同类别晶闸管采用的修饰词

晶闸管类别	三极晶闸管	二极晶闸管
单向晶闸管	阳极电压(电流)、阴极电压(电流) 或 主电压、主电流	阳极电压(电流)、阴极电压(电流) 或 晶闸管电压、晶闸管电流
	阳极端、阴极端 或 主端 1、主端 2	阳极端、阴极端 或 端 1、端 2
双向晶闸管	主电压、主电流	晶闸管电压、晶闸管电流
	主端 1、主端 2	端 1、端 2

3.1 晶闸管的类型

3.1.1 划分类别的准则

按一个或多个准则对晶闸管(类)进行分类:

- a) 按端的个数分为:
 - 三极晶闸管;
 - 二极晶闸管。
- b) 按电压-电流特性第三象限中的作用方式分为:
 - 单向晶闸管;
 - 双向晶闸管。
- c) 按控制的物理类别分为:
 - 电控(制)(这是通常的控制方法,在术语中不指出);
 - 光控(制)。
- d) 按门极控制的能力分为:
 - 仅有开通(此修饰通常在术语中不指出);
 - 门极关断(GTO 晶闸管)。
- e) 按控制层分为:
 - P 门极晶闸管(常见的术语,在术语中不指出);
 - N 门极晶闸管。

3.1.2

晶闸管(一般术语) thyristor(general)

能由内部反馈显示两种稳态的任一稳态,并设计作为主电流(或通态电流)开关工作的半导体器件,保持显示的稳态不需要控制电流(或控制电压),或只需远小于初始建立状态的控制电流(或控制电压)。

注 1: 晶闸管是能仅在主电流的一个方向(单向晶闸管)转换,或能在主电流的两个方向(双向晶闸管)转换的开关。

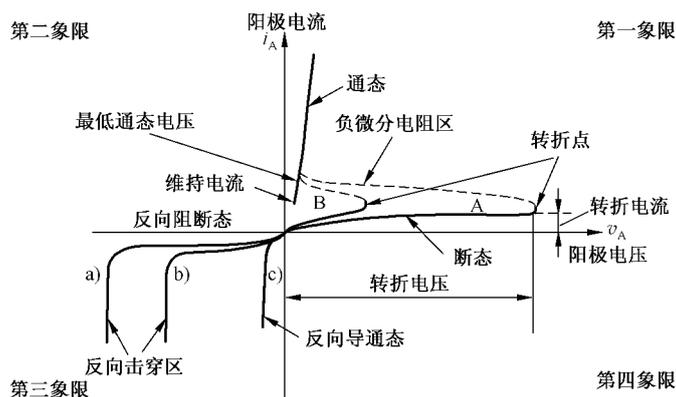
注 2: 晶闸管通常的结构是 PNP 结构,为增加功能可增加其他必要的成分。

注 3: 当不致混淆或误解时,PNPN 族系的任何成员都可使用术语“晶闸管”,特别是该缩写术语“晶闸管”,已广泛用于曾称“半导体可控整流器”的反向阻断三极晶闸管。

3.1.3

单向晶闸管 unidirectional thyristor

见图 1。



说明：

曲线 A——门极电流为零；

曲线 b)——不对称晶闸管；

曲线 B——门极电流大于零；

曲线 c)——反向导通晶闸管。

曲线 a)——反向阻断晶闸管；

图 1 单向晶闸管的静态特性

3.1.4

单向三极晶闸管 unidirectional triode thyristor

只对正的阳极电压才转换的三端晶闸管。

注：在本定义中，对连接控制电路的第二个阴极端或第二个阳极端是不计入端的个数。

3.1.5

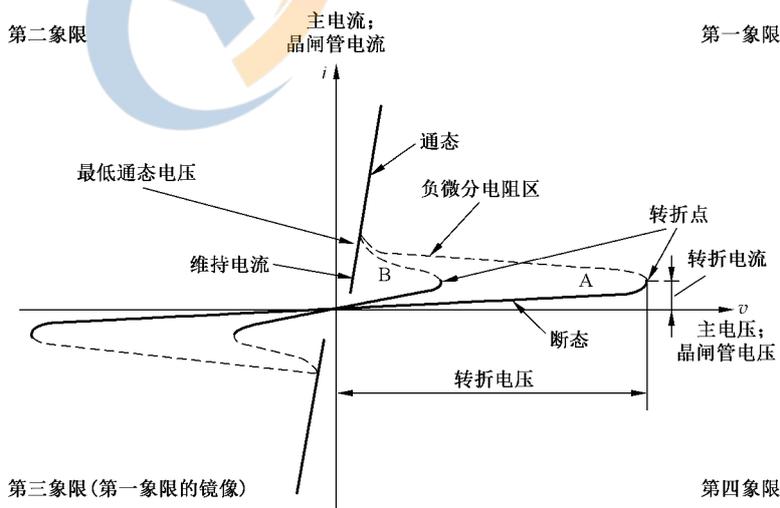
单向二极晶闸管 unidirectional diode thyristor

只对正的阳极电压才转换的二端晶闸管。

3.1.6

双向晶闸管 bidirectional thyristor

见图 2。



说明：

曲线 A——门极电流为零的双向二极或三极晶闸管；

曲线 B——门极电流大于零的双向三极晶闸管。

图 2 双向晶闸管的静态特性

3.1.7

双向三极晶闸管 bidirectional triode thyristor; triac

主特性的第一象限和第三象限具有基本相同转换性能的二端晶闸管(见图 2 的曲线 B)。

3.1.8

双向二极晶闸管 bidirectional diode thyristor; diac

晶闸管电压-电流特性的第一象限和第三象限具有基本相同转换性能的二端晶闸管(见图 2 的曲线 A)。

3.1.9

反向阻断三极晶闸管 reverse-blocking triode thyristor

在反向呈现阻断状态的单向三端晶闸管[见图 1 的曲线 a)和曲线 b)]。

注:如不可能出现混淆,本术语可简称“晶闸管”。

3.1.10

(对称)反向阻断三极晶闸管 (symmetrical) reverse-blocking triode thyristor

额定反向电压和额定断态电压相等或无显著差别的反向阻断三极晶闸管。

3.1.11

不对称反向阻断三极晶闸管 asymmetrical reverse-blocking triode thyristor

额定反向电压显著低于额定断态电压的反向阻断三极晶闸管[见图 1 的曲线 b)]。

3.1.12

反向导通三极晶闸管 reverse-conducting triode thyristor

反向电压值大小与正向通态电压可比拟时,反向导通大电流的单向三极晶闸管[见图 1 的曲线 c)]。

3.1.13

反向阻断二极晶闸管 reverse-blocking diode thyristor

反向呈现阻断态的单向二极晶闸管[见图 1 的曲线 a)和曲线 b)]。

3.1.14

(反向阻断)门极关断晶闸管 (reverse-blocking) gate-turn-off thyristor

GTO 晶闸管 GTO thyristor

对门极端施加适当极性控制信号,能从通态转换到断态或从断态转换到通态的反向阻断三极晶闸管。

3.1.15

反向导通门极关断晶闸管 reverse-conducting gate-turn-off thyristor

对门极端施加适当极性控制信号,能从通态转换到断态或从断态转换到通态的反向导通三极晶闸管。

3.1.16

对称门极关断晶闸管 symmetrical gate-turn-off thyristor

额定反向电压和额定断态电压相等或无显著差别的门极关断晶闸管。

3.1.17

不对称门极关断晶闸管 asymmetrical gate-turn-off thyristor

额定反向电压显著低于额定断态电压的门极关断晶闸管。

3.1.18

P 门极晶闸管 P-gate thyristor

门极端和最接近阴极的 P 区连接,通常对门极端施加相对于阴极端为正的信号,即转换到通态的单向三极晶闸管。

3.1.19

N 门极晶闸管 N-gate thyristor

门极端和最接近阳极的 N 区连接,通常对门极端施加相对于阳极端为负的信号,即转换到通态的单向三极晶闸管。

3.2 三极晶闸管静态电压-电流特性的基本术语

3.2.1

门极端 gate terminal

仅连接控制电路的端。

3.2.2

门极电流 gate current

流过门极端的(控制)电流。

3.2.3

主电流 principal current

由晶闸管转换(控制)的电流。

3.2.4

主端 main terminals

主电流流经的两个端。

3.2.5

阳极端(单向三极晶闸管的) anode terminal(of a unidirectional triode thyristor)

晶闸管处于通态时,主电流由受控电路流入的主端。

注:对于 N 门极晶闸管,为与其控制电路连接,可提供第 2 个阳极端。

3.2.6

阴极端(单向三极晶闸管的) cathode terminal(of a unidirectional triode thyristor)

晶闸管处于通态时,主电流由受控电路流出的主端。

注:对于 P 门极晶闸管,为与其控制电路连接,可提供第 2 个阴极端。

3.2.7

主端 1(双向三极晶闸管的) main terminal 1(of a bidirectional triode thyristor); MT1

双向三极晶闸管制造厂指定的传导控制电流及主电流的主端。

注:某些双向三极晶闸管是完全对称的,如硅双向开关(SBS)晶闸管。对此,制造厂可任意选择主端 1,用户可以使用无论哪个主端的控制电路都会得到需要的门极电流极性。

3.2.8

主端 2(双向三极晶闸管的) main terminal 2(of a bidirectional triode thyristor); MT2

由双向三极晶闸管制造厂命名主端 1 后的另一个主端。

3.2.9

阳极-阴极电压 anode-cathode voltage**阳极电压(单向三极晶闸管的) anode voltage(of an unidirectional triode thyristor)**

阳极端和阴极端之间的电压(电位差)。

3.2.10

主电压 principal voltage

两个主端之间的电压(电位差)。

注 1:对于单向三极晶闸管,当阳极电位高于阴极电位时,主电压称为正的,当阳极电压低于阴极电位时,主电压称为负的,因而对于单向三极晶闸管,“主电压”和“阳极-阴极电压”是同义词。

注 2: 对于双向三极晶闸管,(与主端 1、主端 2 有关的)主电压极性应规定。

3.2.11

(静态)电压-电流特性 (static) voltage-current characteristic

(静态)主特性(单向三极晶闸管的) (static) principal characteristic(of a unidirectional triode thyristor)

在内部电、热平衡条件下,与规定等效结温有关的阳极电压对阳极电流的函数,通常用图示法表示(见图 1)。

注 1: 适用时,此特性可以门极电流作参变量给出。

注 2: 除应区别静态和动态特性外,术语中的“静态”通常是省略的。

3.2.12

(静态)主特性(双向三极晶闸管的) (static) principal characteristic(of a bidirectional triode thyristor)

在内部电、热平衡条件下,与规定等效结温有关的主电压对主电流的函数,通常用图示法表示(见图 2)。

注 1: 适用时,此特性可以门极电流作参变量给出。

注 2: 除应区别静态和动态特性外,术语中的“静态”通常是省略的。

3.3 二极管静态电压-电流特性的基本术语

3.3.1

阳极端(单向二极管的) anode terminal(of a unidirectional diode thyristor)

晶闸管处于通态时,电流从外部电路流入的端。

3.3.2

阴极端(单向二极管的) cathode terminal(of a unidirectional diode thyristor)

晶闸管处于通态时,电流从其流入外部电路的端。

3.3.3

端 1(双向二极管的) terminal 1(of a bidirectional diode thyristor)

由制造厂命名为 1 的主端。

3.3.4

端 2(双向二极管的) terminal 2(of a bidirectional diode thyristor)

由制造厂命名为 2 的主端。

3.3.5

阳极-阴极电压 anode-cathode voltage

阳极电压(单向二极管的) anode voltage(of a unidirectional diode thyristor)

阳极端和阴极端之间的电压(电位差)。

注: 当阳极电位高于阴极电位时,阳极-阴极电压称为正的;阳极电位低于阴极电位时,阳极-阴极电压称为负的。

3.3.6

晶闸管电压(双向二极管的) thyristor voltage(of a bidirectional diode thyristor)

两端之间的电压(电位差)。

注: (与端 1、端 2 有关的)晶闸管电压的极性应规定。

3.3.7

(静态)特性(单向二极管的) (static) characteristic(of a unidirectional diode thyristor)

在内部电、热平衡条件下,与规定等效结温有关的阳极电压对阳极电流的函数,通常用图示法表示。

注: 除应区别静态和动态特性外,术语中的“静态”通常是省略的。

3.3.8

(静态)特性(双向二极管的) (static) characteristic(of a bidirectional diode thyristor)

在内部电、热平衡条件下,与规定等效结温有关的晶闸管电压对晶闸管电流的函数,通常用图示法

表示。

注：除必须区别静态和动态特性外，术语中的“静态”通常是省略的。

3.4 三极晶闸管和二极晶闸管静态电压-电流特性(见图 1、图 2)

3.4.1

通态 on state

在可以发生转换的象限内，对应特性曲线的低电阻区域的晶闸管状态。

3.4.2

断态 off state

在可以发生转换的象限内，对应特性曲线原点和转折点之间区域的晶闸管状态。

3.4.3

反向阻断态 reverse-blocking state

对应原点和反向击穿区开始之间的反向阻断晶闸管或不对称晶闸管的反向电压状态。

3.4.4

反向击穿区 reverse breakdown region

发生反向击穿的特性区域。

注：“反向击穿”的定义见 GB/T 17573—1998。

3.4.5

反向导通态 reverse-conducting state

对应反向导通三极晶闸管特性曲线第三象限的状态。

3.4.6

负微分电阻区 negative differential resistance region

微分电阻为负的特性区域。

3.4.7

转折点 breakover point

在可发生转换的象限内，微分电阻为零且断态电压达到最大值的点。

3.5 额定值和特性的术语：主电压

注 1：在本条中，用于一类以上晶闸管的类似定义组合成适用所有相关修饰词的简单的词。例如 3.5.8 中，“阳极电压、主电压或晶闸管电压”表示术语通态电压适用于单向晶闸管、双向三极晶闸管和双向二极晶闸管(见表 1)。

注 2：当存在几种不同的文字符号形式时，给出最常用的形式。

3.5.1

转折电压 breakover voltage

$V_{(BO)}$

在转折点的电压。

3.5.2

反向电压(单向晶闸管的) reverse voltage(of a unidirectional thyristor)

V_R

负的阳极电压。

3.5.3

反向直流电压(单向晶闸管的) direct reverse voltage(of a unidirectional thyristor)

$V_{R(D)}$

不随时间变化或变化很小以致可以忽略的反向电压。

3.5.4

反向击穿电压(单向晶闸管的) **reverse breakdown voltage(of a unidirectional thyristor)**

$V_{(BR)}$

反向击穿区的电压。

3.5.5

反向工作峰值电压(单向晶闸管的) **crest working reverse voltage; peak working reverse voltage(of a unidirectional thyristor)**

V_{RWM}

不包括所有重复和不重复瞬态电压的最大瞬时值反向电压(见图 3)。

注:重复电压通常是电路的函数,并使器件损耗功率增加。不重复瞬态电压通常由外因引起,并假定它的影响在下次瞬态电压来临之前已完全消失。

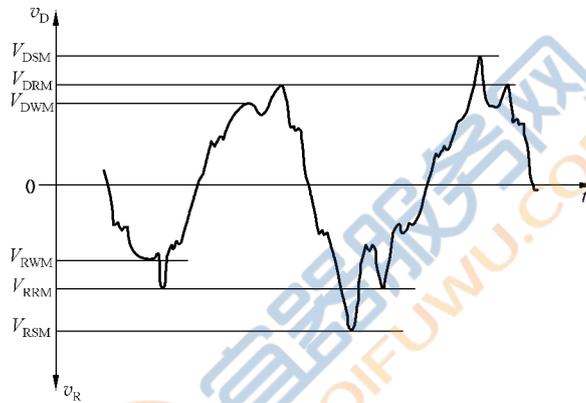


图 3 晶闸管的反向峰值电压和断态峰值电压

3.5.6

反向重复峰值电压(单向晶闸管的) **repetitive peak reverse voltage(of a unidirectional thyristor)**

V_{RRM}

包括所有重复瞬态电压,但不包括所有不重复瞬态电压的最大瞬时值反向电压(见图 3)。

注:重复电压通常是电路的函数,并使器件损耗功率增加。不重复瞬态电压通常由外因引起,并假定它的影响在下次瞬态电压来临之前已完全消失。

3.5.7

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

反向瞬态峰值电压(单向晶闸管的) **peak transient reverse voltage(of a unidirectional thyristor)**

V_{RSM}

任何不重复最大瞬时值的瞬态反向电压(见图 3)。

注 1:重复电压通常是电路的函数,并使器件损耗功率增加。不重复瞬态电压通常由外因引起,并假定它的影响在下次瞬态电压来临之前已完全消失。

注 2:应优先采用“反向不重复峰值电压”。

3.5.8

通态电压 **on-state voltage**

V_T

晶闸管处于通态时的阳极电压、主电压或晶闸管电压。

3.5.9

断态电压 off-state voltage

V_D

晶闸管处于断态时的阳极电压、主电压或晶闸管电压。

3.5.10

断态直流电压 direct off-state voltage

$V_{D(D)}$

不随时间变化或变化很小以致可以忽略的断态电压。

3.5.11

断态工作峰值电压 crest working off-state voltage; peak working off-state voltage

V_{DWM}

不包括所有重复和不重复瞬态电压的最大瞬时值断态电压(见图 3)。

注: 重复电压通常是电路的函数,并使器件损耗功率增加。不重复瞬态电压通常由外因引起,并假定它的影响在下次瞬态电压来临之前已完全消失。

3.5.12

断态重复峰值电压 repetitive peak off-state voltage

V_{DRM}

包括所有重复瞬态电压,但不包括所有不重复瞬态电压的最大瞬时值断态电压(见图 3)。

注: 重复电压通常是电路的函数,并使器件损耗功率增加。不重复瞬态电压通常由外因引起,并假定它的影响在下次瞬态电压来临之前已完全消失。

3.5.13

断态不重复峰值电压 non-repetitive peak off-state voltage

断态瞬态峰值电压 peak transient off-state voltage

V_{DSM}

任何不重复最大瞬时值的瞬态断态电压(见图 3)。

注 1: 重复电压通常是电路的函数,并使器件损耗功率增加。不重复瞬态电压通常由外因引起,并假定它的影响在下次瞬态电压来临之前已完全消失。

注 2: 应优先采用“断态不重复峰值电压”。

3.5.14

断态电压临界上升率 critical rate of rise of off-state voltage

dv/dt

不导致由断态到通态转换的断态电压上升率最大值。

注 1: 应规定上升率的测试方法。

注 2: 当混淆时,应采用符号“ $(dv_D/dt)_{cr}$ ”。

3.5.15

换向电压临界上升率(反向导通三极晶闸管的) critical rate of rise of commutating voltage(of a reverse-conducting triode thyristor)

$dv/dt(c)$

紧接反向电流导通后,不导致由断态到通态转换的断态电压上升率最大值。

注 1: 应规定上升率的测试方法。

注 2: 当混淆时,应采用符号“ $(dv_{D(comm)}/dt)_{cr}$ ”。

3.5.16

换向电压临界上升率(双向三极晶闸管的) **critical rate of rise of commutating voltage(of a triac)**

断态再加电压临界上升率(双向三极晶闸管的) **critical rate of rise of the reapplied off-state voltage(of a triac)**

$dv/dt(c)$

紧接通态电流导通后,不导致在相反方向由断态到通态转换的断态电压上升率最大值。

注 1: 应规定上升率的测试方法。

注 2: 当混淆时,应采用符号“($dv_{D(\text{com})}/dt)_{cr}$ ”。

3.5.17

关断(断态)尖峰电压(GTO 晶闸管的) **turn-off(off-state) spike voltage(of a GTO thyristor)**

$V_{Q(SP)}$

断态电压上升初期短时出现的再加断态电压尖峰的峰值(参见 3.9.22)。

注: 关断时的尖峰电压不是晶闸管的固有特性,其值取决于与 GTO 晶闸管并联的吸收网络中的寄生电感,并影响关断能量损耗。

3.5.18

关断(时)断态峰值电压(GTO 晶闸管的) **turn-off peak off-state voltage(of a GTO thyristor)**

V_{DQM}

关断过程临近结束时,再加断态电压高于最终稳态值的峰值(参见 3.9.22)。

注: 关断时的断态峰值电压不是晶闸管的固有特性,其值取决于外部电路设计,并影响关断能量损耗。

3.6 额定值和特性的术语:主电流

3.6.1

转折电流 **breakover current**

$I_{(BO)}$

在转折点的阳极电流、主电流或晶闸管电流。

3.6.2

反向电流(单向晶闸管的) **reverse current(of a unidirectional thyristor)**

I_R

对应负的阳极电压的阳极电流。

3.6.3

反向导通电流(反向导通晶闸管的) **reverse-conducting current(of a reverse-conduction thyristor)**

I_{RC}

反向导通晶闸管的反向电流。

3.6.4

反向导通平均电流 **mean reverse-conducting current**

$I_{RC(AV)}$

反向导通电流在一整周期内的平均值。

3.6.5

反向导通过载电流 **overload reverse-conducting current**

$I_{RC(OV)}$

连续施加会导致超过额定最高等效结温,但限制其持续时间将不超过该温度的反向导通电流。

注 1: 按应用要求,器件可以频繁地承受过载电流,但同时要承受正常的工作电压。

注 2: 除另有说明外,反向导通过载电流额定(极限)值的规范,应基准于其波形基本上和反向导通电流额定值的相同。

3.6.6

反向导通浪涌电流 surge reverse-conducting current

I_{RCSM}

持续时间短并规定波形的反向导通脉冲电流,这种电流由异常电路情况(如故障)引起,导致结温超过或可能超过额定最高等效结温,但假定其极少发生,并在器件工作寿命期内具有有限定的发生次数。

3.6.7

反向阻断电流(单向晶闸管的) reverse blocking current(of a unidirectional thyristor)

I_{R}

晶闸管处于反向阻断态时的反向电流。

3.6.8

反向恢复电流(单向晶闸管的) reverse recovery current(of a unidirectional thyristor)

$I_{\text{RR}}, I_{\text{R(REC)}}$

在反向恢复期间出现的反向电流。

注:关于反向恢复时间期间的反向恢复峰值电流的文字符号只可使用 I_{RM} 或 $I_{\text{RM(REC)}}$ (参见 3.9.11), 因为文字符号

I_{RRM} 已用于“反向重复峰值电流”。

3.6.9

通态电流 on-state current

I_{T}

晶闸管处于通态时的阳极电流、主电流或晶闸管电流。

3.6.10

通态直流电流 direct on-state current

$I_{\text{T(D)}}$

不随时间变化或变化很小以致可以忽略的通态电流。

3.6.11

通态平均电流 mean on-state current

$I_{\text{T(AV)}}$

通态电流在一整周期内的平均值。

3.6.12

通态方均根电流 r.m.s.on-state current

$I_{\text{T(RMS)}}$

通态电流在一整周期内的方均根值。

3.6.13

正弦波通态峰值电流 peak sinusoidal on-state current

I_{TM}

不包括任何瞬态电流的通态正弦波电流的峰值。

3.6.14

梯形波通态峰值电流 peak trapezoidal on-state current

I_{TM}

不包括任何瞬态电流的通态梯形波电流的峰值。

3.6.15

通态重复峰值电流 repetitive peak on-state current

I_{TRM}

包括所有重复瞬态电流的通态电流的峰值(见图 4)。

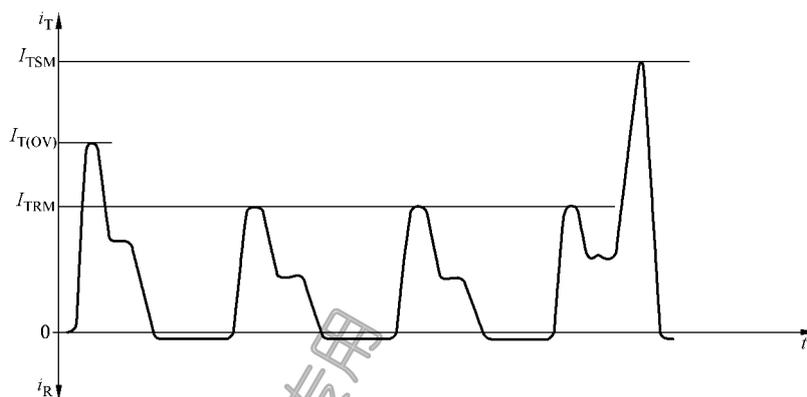


图 4 通态峰值电流

3.6.16

通态过载电流 overload on-state current

$I_{T(OV)}$

连续施加会导致超过额定最高等效结温,但限制其持续时间将不超过该温度的通态电流。

注 1: 按应用要求,器件可以频繁地承受过载电流,但同时要承受正常的工作电压。

注 2: 除另有说明外,通态过载电流额定(极限)值的规范,应基准于其波形基本上和通态电流额定值的相同。

3.6.17

通态浪涌电流 surge on-state current

I_{TSM}

持续时间短并规定波形的通态脉冲电流,这种电流由异常电路情况(如故障)(见图 4)引起,导致结温超过或可能超过额定最高等效结温,但假定其极少发生,并在器件工作寿命期内具有有限定的发生次数。

3.6.18

I^2t 值(通态浪涌电流的) I^2t value(of a surge on-state current)

I^2t

规范最大额定值通态浪涌电流采用的值,对于规定的短积分时间 t_i ,此最大额定值以式(1)给出:

$$I^2t = \int_0^{t_i} i^2 dt \dots\dots\dots (1)$$

3.6.19

通态可控重复峰值电流(GTO 晶闸管的) repetitive peak controllable on-state current(of a GTO thyristor)

I_{TQRM}

由门极控制可周期性关断的通态电流的最大峰值。

注: 重复电流通常是电路的函数,并使器件损耗功率增加。不重复瞬态电流通常由外因引起,并假定它的影响在下次瞬态电流来临之前已完全消失。

3.6.20

通态可控不重复峰值电流(GTO 晶闸管的) non-repetitive peak controllable on-state current(of a GTO thyristor)

I_{TQSM}

由门极控制关断的通态不重复电流的最大峰值。

注：重复电流通常是电路的函数，并使器件损耗功率增加。不重复瞬态电流通常由外因引起，并假定它的影响在一次瞬态电流来临之前已完全消失。

3.6.21

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，在规定的反向电流脉冲波形和持续时间的条件下，不应超过的反向峰值电流。

注1：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。

注2：在大晶闸管组件中，如其中一只晶闸管反向击穿，就可能出现那样很大的反向电流。很大的晶闸管的通态浪涌峰值电流可能大于管壳不破裂峰值电流，以致针对通态浪涌峰值电流选择的熔断器不能提供来保护管壳不破裂。

3.6.22

管壳不破裂 I^2t 值 case non-rupture I^2t value $I_{\text{RSC}}^2 t$

为防止管壳爆裂或等离子束发射，在规定反向脉冲电流波形和持续时间的条件下，不应超过的 $I_{\text{RSC}}^2 t$ 值，以式(2)给出：

$$I_{\text{RSC}}^2 t = \int_0^{t_p} i_{\text{R}}^2 dt \dots\dots\dots (2)$$

式中：

t_p ——反向电流脉冲持续时间。

注1：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。

注2：在大晶闸管组件中，如其中一只晶闸管有反向击穿，就可能出现那样很大的反向电流。很大的晶闸管的(通态) I^2t 值可能大于管壳不破裂 $I_{\text{RSC}}^2 t$ 值，以致针对 I^2t 值选择的熔断器不能提供来保护管壳不破裂。

3.6.23

通态电流临界上升率 critical rate of rise of on-state current di/dt

晶闸管能承受而无有害影响的通态电流上升率的最大值。

注：当混淆时，应采用符号 $(di_{\text{T}}/dt)_{\text{cr}}$ 。

3.6.24

擎住电流 latching current I_{L}

在紧接断态转换到通态，并移除触发信号之后，维持晶闸管处于通态所需的最小阳极电流(或主电流)。

3.6.25

维持电流 holding current I_{H}

维持晶闸管处于通态所需的最小阳极电流、主电流或晶闸管电流。

3.6.26

断态电流 off-state current I_{D}

晶闸管处于断态时的阳极电流、主电流或晶闸管电流。

3.6.27

断态直流电流 **direct off-state current**

$$I_{D(D)}$$

不随时间变化或随时间变化很小以致可以忽略的断态电流。

3.6.28

尾部电流(GTO 晶闸管的) **tail current(of a GTO thyristor)**

$$I_z$$

在尾部时间期间流过阳极的电流(参见 3.9.22)。

3.6.29

尾部峰值电流(GTO 晶闸管的) **peak tail current(of a GTO thyristor)**

$$I_{zM}$$

尾部时间开始后短时间出现的尾部电流最大值(参见 3.9.22)。

3.7 额定值和特性的术语:门极电压,门极电流

3.7.1

门极电压 **gate voltage**

$$V_G$$

门极端和单向三极晶闸管的阴极(P 门极晶闸管的)或阳极(N 门极晶闸管的)或和双向三极晶闸管规定主端之间的电压。

3.7.2

门极电流 **gate current**

$$I_G$$

流过门极端的(控制)电流。

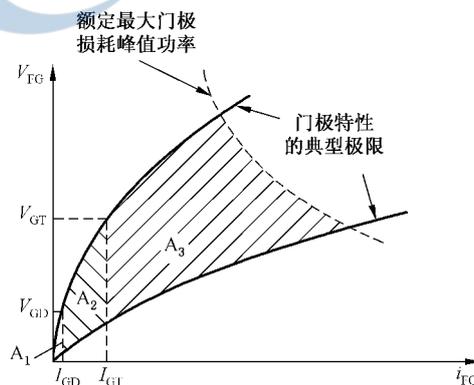
3.7.3

门极正向电压 **forward gate voltage**

$$V_{FG}$$

——对于 P 门极晶闸管, 正的 门极-阴极电压(参见图 5);

——对于 N 门极晶闸管, 负的 门极-阳极电压。



说明:

A₁——不触发区;

A₂——不一定触发区;

A₃——一定触发区。

图 5 门极正向电压与门极正向电流的关系

3.7.4

门极正向峰值电压 **peak forward gate voltage**

V_{FGM}

包括所有瞬态电压的最大瞬时值门极正向电压。

3.7.5

门极反向电压 **reverse gate voltage**

V_{RG}

——对于 P 门极晶闸管, 负的门极-阴极电压;

——对于 N 门极晶闸管, 正的门极-阳极电压。

3.7.6

门极反向峰值电压 **peak reverse gate voltage**

V_{RGM}

包括所有瞬态电压的最大瞬时值门极反向电压。

3.7.7

门极正向电流 **forward gate current**

I_{FG}

——对于 P 门极晶闸管, 正的门极电流(参见图 5);

——对于 N 门极晶闸管, 负的门极电流。

3.7.8

门极正向峰值电流 **peak forward gate current**

I_{FGM}

包括所有瞬态电流的最大瞬时值门极正向电流。

3.7.9

门极反向电流 **reverse gate current**

I_{RG}

——对于 P 门极晶闸管, 负的门极电流;

——对于 N 门极晶闸管, 正的门极电流。

3.7.10

门极反向峰值电流 **peak reverse gate current**

I_{RGM}

包括所有瞬态电流的最大瞬时值门极反向电流。

3.7.11

门极维持电流(GTO 晶闸管的) **sustaining gate current(of a GTO thyristor)**

I_{FGsus}

确保当阳极电流下降到不足以保持所有分阴极区导通, 而增加阳极电流所有分阴极区又转入导通, 所要求的最小门极正向电流。

3.7.12

门极开通电压 **turn-on gate voltage**

v_{FGT}

晶闸管开通期间的门极正向电压。

3.7.13

门极开通驱动电压 **turn-on gate drive voltage**

V_{FGT}

产生门极开通驱动电流所需要的门极电压。

3.7.14

通态门极偏置电压 **on-state gate bias voltage**

V_{FGB}

紧接开通晶闸管后的一时间间隔内的门极正向电压。

3.7.15

门极关断电压(GTO 晶闸管的) **turn-off gate voltage(of a GTO thyristor)**

V_{RGQ}

晶闸管关断期间的一时间间隔内的门极反向电压。

3.7.16

门极关断峰值电压(GTO 晶闸管的) **peak turn-off gate voltage(of a GTO thyristor)**

V_{RGQM}

门极关断电流达到峰值 I_{RGQM} 后,门极关断电压快速上升的终点达到的峰值。

3.7.17

门极关断偏置电压(GTO 晶闸管的) **turn-off gate bias voltage(of a GTO thyristor)**

V_{RGQB}

出现在关断过程终点附近的,基本上是恒值的门极关断电压,此时,是通过维持一个高于断态时门极偏置电压的门极关断电压值,使门极控制电路支持该关断过程。

3.7.18

断态门极偏置电压(GTO 晶闸管的) **off-state gate bias voltage(of a GTO thyristor)**

V_{RGB}

紧接晶闸管关断期间后的一时间间隔内的门极反向电压。

3.7.19

门极开通电流 **turn-on gate current**

i_{FGT}

晶闸管开通期间的门极正向电流。

3.7.20

门极开通驱动电流 **turn-on gate drive current**

I_{FGT}

由触发电路提供的门极开通电流。

注:通常以触发脉冲起始时很高的峰值电流来加速开通过程(参见 3.9 中的 G)。

3.7.21

门极开通驱动峰值电流 **peak turn-on gate drive current**

I_{FGTM}

门极开通驱动电流脉冲的峰值。

3.7.22

通态门极偏置电流 **on-state gate bias current**

I_{FGB}

紧接晶闸管开通期间后的一时间间隔内的门极正向电流。

3.7.23

门极关断电流(GTO 晶闸管的) **turn-off gate current(of a GTO thyristor)**

I_{RGQ}

晶闸管关断期间的一时间间隔内的门极反向电流。

3.7.24

门极关断偏置电流(GTO晶闸管的) **turn-off gate bias current(of a GTO thyristor)**

I_{RGQB}

与门极关断偏置电压对应的门极电流。

3.7.25

门极关断峰值电流(GTO晶闸管的) **peak turn-off gate current(of a GTO thyristor)**

I_{RGQM}

门极反向电流在关断过程起始快速上升的终点达到的峰值。

注:规范指的是门极关断脉冲发生器在规定条件下能提供的被关断通态峰值电流变化的 I_{RGQM} 的最小值。

3.7.26

断态门极偏置电流(GTO晶闸管的) **off-state gate bias current**

I_{RGB}

紧接晶闸管关断期间后的一时间间隔内的门极反向电流。

3.7.27

门极触发电流 **gate trigger current**

I_{GT}

在规定条件下,能安全地触发一种型号中任一晶闸管所需的最小门极电流(参见图5)。

3.7.28

门极触发电压 **gate trigger voltage**

V_{GT}

产生门极触发电流所需要的门极电压(参见图5)。

3.7.29

门极不触发电流 **gate non-trigger current**

I_{GD}

在规定条件下,能安全地不触发一种型号中任一晶闸管的 I_{GD} 最大门极电流。该电流是不希望门极电路具有的。

3.7.30

门极不触发电压 **gate non-trigger voltage**

V_{GD}

与门极不触发电流对应的门极电压。

3.8 额定值和特性的术语:功率,能量

注1:所有定义用词是对三极晶闸管的。合适时,这些定义也适用于二极晶闸管。

注2:如无其他规定,所有功率、能量的定义是指阳极电流(或主电流)和阳极电压(或主电压)的乘积。

A 一周期的瞬时功率

注1:以下定义都与将一周期的时间细分为晶闸管处于特定状态或变化状态各特定时间间隔有关。

注2:定义都是通用的。并不认为为了使导出特性“分平均损耗功率”和“分损耗能量”的规范有意义,而应识别各特定时间间隔的起点和终点,不过,在有关的注释中对各时间间隔的规范给出了导则。

3.8.1

反向功率 **reverse power**

P_{R}

晶闸管处于反向阻断状态时的功率。

注:如无其他规定,本术语系指关断时间终点和由反向阻断态向断态变化($I=0$ 或 $V=0$)之间的时间间隔的功率。

3.8.2

反向导通功率(反向导通晶闸管的) **reverse-conducting power(of a reverse-conducting thyristor)**

P_{RC}

晶闸管处于反向导通状态时的功率。

注: 如无其他规定,本术语系指关断时间终点和由反向导通态向断态变化($I=0$ 或 $V=0$)之间的时间间隔的功率。

3.8.3

断态功率 **off-state power**

P_D

晶闸管处于断态时的功率。

注: 如无其他规定,本术语系指下列时间间隔产生的功率:

由反向阻断(或反向导通)态向断态转换过原点($I=0$ 或 $V=0$)起至开通时间起点之间的时间间隔(包括 GTO 晶闸管),以及关断时间终点和由断态向反向阻断(或反向导通)态转换过原点时之间的时间间隔。

3.8.4

开通功率 **turn-on power**

P_{TT}

晶闸管开通期间的功率。

注: 如无其他规定,该期间对应于开通时间。

3.8.5

通态功率 **on-state power**

P_T

晶闸管处于通态时的功率。

注: 如无其他规定,本术语系指开通时间终点和关断时间起点之间的时间间隔的功率。

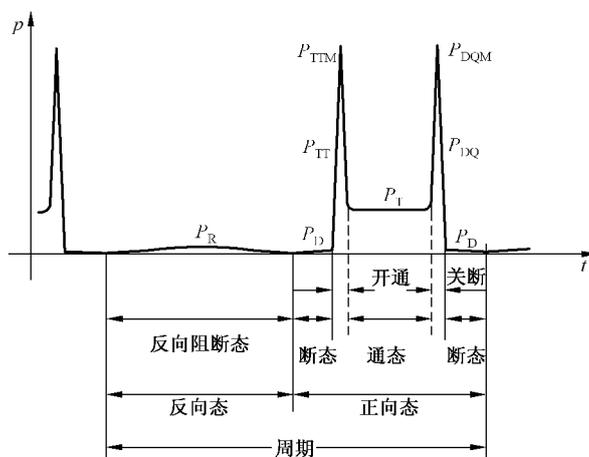
3.8.6

关断功率 **turn-off power**

$P_{RQ}; P_{DQ}$ (对于 GTO 晶闸管)

晶闸管关断期间的功率(参见图 6)。

注: 如无其他规定,此期间对应于关断时间。



说明:

P_R ——反向功率;
 P_D ——断态功率;
 P_T ——通态功率;

P_{TTM} ——开通功率;
 P_{DQM} ——关断功率。

图 6 频率较低时,GTO 晶闸管的各分损耗功率

3.8.7

门极功率 gate power

P_G

门极电流瞬时值和门极电压瞬时值的乘积。

B 平均损耗功率

注 1: 术语“耗散功率”过去一直作为“损耗功率”的同义词,现不再推荐这样使用。术语“损耗(loss)”是指起源处产生的功率,而“耗散(dissipation)”是指由器件表面到环境耗散的热量。对这两个不同的量提供了不同的术语,是因为由于内部贮存的热量,两者有不同的时间过程。

注 2: 作为例外,“平均耗散功率”仍可作为“平均损耗功率”的同义词,但仅在合适时,例如,在不同的时间过程不影响这两个量的平均值,这种情况在一个整周期平均得到的平均值即是。

3.8.8

分平均损耗功率 mean partial power loss

在周期内特定时间间隔的瞬时损耗功率在一整周期的平均值。

3.8.9

总平均损耗功率 mean total power loss

$P_{tot(AV)}$

一整周期内所有分平均损耗功率与门极平均损耗功率之和。以式(3)给出:

$$P_{tot(AV)} = P_{T(AV)} + P_{add(AV)} + P_{G(AV)} \dots\dots\dots (3)$$

3.8.10

通态平均损耗功率 mean on-state power loss

$P_{T(AV)}$

由通态功率引起的分平均损耗功率。

3.8.11

附加平均损耗功率 mean additional power loss

$P_{add(AV)}$

有关平均损耗功率之和。以式(4)给出:

$$P_{add(AV)} = P_{TT(AV)} + P_{RQ(AV)} + P_{D(AV)} + P_{R(AV)} \dots\dots\dots (4)$$

注：对于 GTO 晶闸管，式中的 $P_{RQ(AV)}$ 用 $P_{DQ(AV)}$ 代替。

3.8.12

开通平均损耗功率 **mean turn-on power loss**

$$P_{TT(AV)}$$

由开通功率引起的分平均损耗功率。

3.8.13

关断平均损耗功率 **mean turn-off power loss**

$$P_{RQ(AV)}; P_{DQ(AV)} \text{ (对于 GTO 晶闸管)}$$

由关断功率引起的分平均损耗功率。

3.8.14

断态平均损耗功率 **mean off-state power loss**

$$P_{D(AV)}$$

由断态功率引起的分平均损耗功率。

3.8.15

反向平均损耗功率 **mean reverse power loss**

$$P_{R(AV)}$$

由反向功率引起的分平均损耗功率。

3.8.16

门极平均损耗功率 **mean gate power loss**

$$P_{G(AV)}$$

在一整周期内平均的门极损耗功率。

C 损耗能量

3.8.17

动态通态损耗能量 **dynamic on-state energy loss**

$$E_T$$

从通态电流上升到一规定低值瞬间至规定关断时间起点瞬间的总损耗能量。

3.8.18

基本通态损耗能量 **basic on-state energy loss**

$$E_{TB}$$

在整个通态期间，如晶闸管完全开通，通态电流产生的损耗能量。

注：此损耗能量只能基于电流波形的观测、通过计算决定，计算方法应规定。

3.8.19

附加开通损耗能量 **additional turn-on energy loss**

$$E_{TT}$$

动态通态损耗能量和基本通态损耗能量之差：

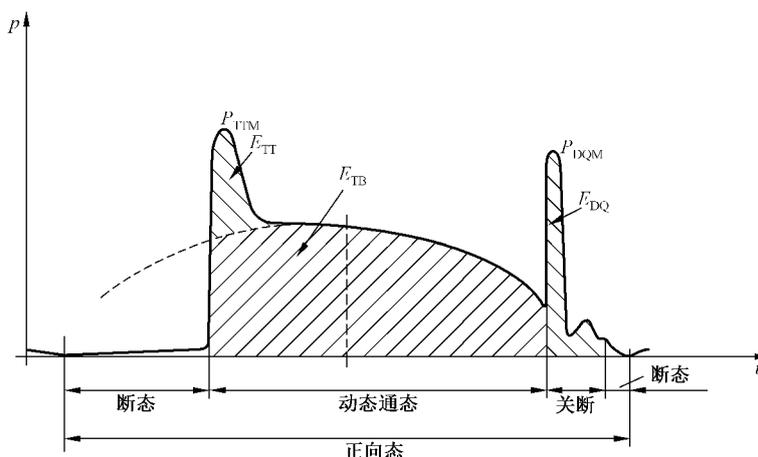
$$E_{TT} = E_T - E_{TB}$$

3.8.20

关断损耗能量 **turn-off energy loss**

$$E_{RQ}; E_{DQ} \text{ (对于 GTO 晶闸管)}$$

关断时间期间的损耗能量(参见图 7)。



说明:

E_{TB} ——基本通态损耗能量;
 E_{TT} ——附加开通损耗能量;

$E_T = E_{TB} + E_{TT}$ ——动态通态(总的)损耗能量;
 E_{DQ} ——关断损耗能量。

图 7 频率较高时,GTO 晶闸管的动态通态各分损耗能量

3.9 额定值和特性的术语:恢复时间和其他特性

A 通态特性近似[见图 8a)]

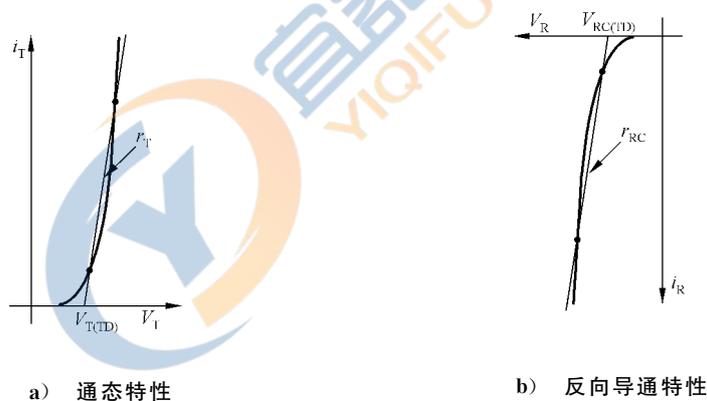


图 8 特性近似

3.9.1

通态特性近似直线 straight-line approximation of the on-state characteristic

近似表示(电流与电压关系的)通态特性曲线的通态特性直线,此直线为通态特性曲线上两规定点相连的直线。

3.9.2

通态斜率电阻 on-state slope resistance

r_T

由通态特性近似直线的斜率计算的电阻值。

3.9.3

通态门槛电压 on-state threshold voltage

$V_{T(CTO)}; V_{(CTO)}$

由通态特性近似直线与电压轴的交点确定的通态电压值。

B 反向导通特性近似直线[见图 8b)]

3.9.4

反向导通特性近似直线 straight-line approximation of the reverse-conducting characteristic

近似表示(电流与电压关系的)反向导通特性曲线的反向导通特性直线,此直线为该通态特性曲线上两规定点相连的直线。

3.9.5

反向导通斜率电阻 reverse-conducting slope resistance

r_{RC}

由反向导通特性近似直线的斜率计算的电阻值。

3.9.6

反向导通门槛电压 reverse-conducting threshold voltage

$V_{RC(TO)}$

由反向导通特性近似直线与电压轴的交点确定的反向电压值。

C 热特性,基本定义

适用于 GB/T 17573—1998 的第 IV 篇给出的定义,补充如下有用的定义。

D 分热阻(平板形晶闸管的)

3.9.7

阳极侧结-壳分热阻 partial thermal resistance junction-to-case, anode side

$R_{th(j-c)A}$

等效结和管壳阳极侧之间的热阻。

3.9.8

阴极侧结-壳分热阻 partial thermal resistance junction-to-case, cathode side

$R_{th(j-c)K}$

等效结和管壳阴极侧之间的热阻。

E 分热阻(集成有反向二极管的反向导通晶闸管的)

注 1: 由于通态损耗功率和反向导通损耗功率发生在不同的区域,故可能需要区别晶闸管结-壳热阻和二极管结-壳热阻。

注 2: 在晶闸管内和二极管内同时发生损耗功率的这些分热阻的应用规范正在考虑中。

3.9.9

晶闸管结-壳热阻 thyristor junction-to-case thermal resistance

$R_{th(j-c)T}$

在器件内全部损耗功率由通态电流产生的条件下,晶闸管结和基准点间的温差除以晶闸管内稳态通态损耗功率之商。

3.9.10

二极管结-壳热阻 diode junction-to-case thermal resistance

$R_{th(j-c)D}$

在器件内全部损耗功率由反向导通电流产生的条件下,二极管结和基准点间的温差除以二极管内稳态反向导通损耗功率之商。

F 恢复时间

3.9.11

反向恢复时间(反向阻断晶闸管的) reverse recovery time(of a reverse-blocking thyristor)

t_{rr}

在从通态到反向阻断态转换期间,电流过零瞬间和反向电流由其峰值 I_{RM} 减小到规定低值[如

图 9a)所示,低值可为零]或反向电流外推至零[如图 9b)所示]瞬间之间的时间间隔。

注 1: 外推由规定的 A 点和 B 点连线实现,通常如图 9b)所示, A 点可规定为 I_{RM} 。

注 2: t_{rr} 的规定值与反向恢复前的通态电流脉冲的规定波形有关,此波形可以是正弦半波(实线)也可以是梯形波(虚线)。

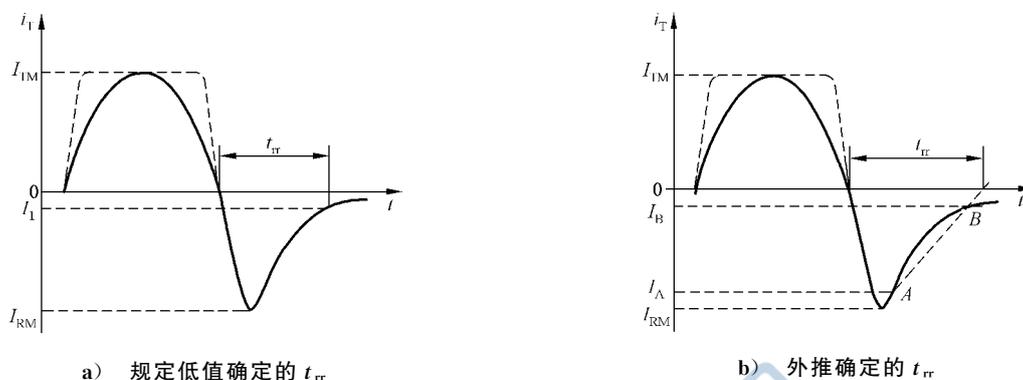


图 9 反向恢复时间

3.9.12

断态恢复时间(反向导通三极晶闸管的) off-state recovery time(of a reverse-conducting thyristor)

t_{dr}

在从反向导通态到断态转换期间,电流过零瞬间和断态电流由其峰值 I_{DM} 减小到规定低值 I_1 [如图 10a)所示,低值可为零]或反向电流外推至零[如图 10b)所示]瞬间之间的时间间隔。

注 1: 外推由规定的 A 点和 B 点连线实现,通常如图 10b)所示, A 点可规定为 I_{DM} 。

注 2: t_{dr} 的规定值与断态恢复前的反向电流脉冲的规定波形有关,此波形可以是正弦半波(实线)也可以是梯形波(虚线)。

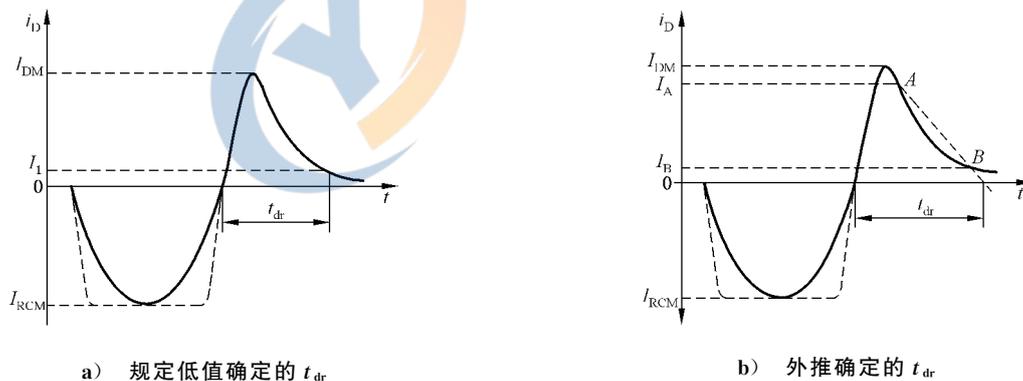


图 10 断态恢复时间

3.9.13

电路换向关断时间 circuit-commutated turn-off time

t_{q1}

外部切换主电路后,通态电流降至零瞬间,和晶闸管能承受而不致转折的断态电压急剧上升过零[如图 11 曲线 a)]或最早的低的正值[图 11 曲线 b)]瞬间之间的时间间隔。

注: 曲线 a)适用于简单的反向阻断三极晶闸管。对于带有外部或内部反并联二极管(反向导通晶闸管)旁路的晶闸管,由于二极管的引线电感,就可能出现曲线 b)。

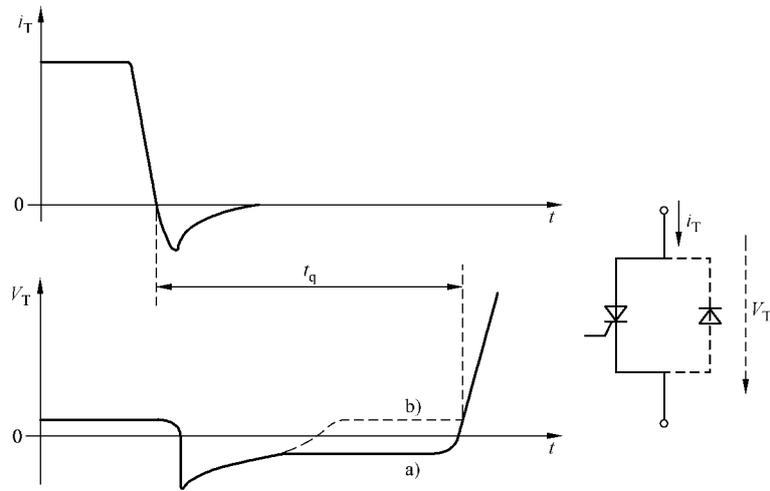


图 11 电路换向关断时间

3.9.14

维持关断间隔(在变流器中的) hold-off interval(in a converter)

t_H

变流器的晶闸管通态电流降至零瞬间和同一晶闸管承受断态电压瞬间之间的时间间隔。

注：维持关断间隔不是晶闸管的特性，而是变流器的工作条件。该时间长于所期望的各晶闸管的最长电路换向关断时间，但这也决定于变流器的工作条件。

G 门极控制开通的时间和上升率(见图 12)

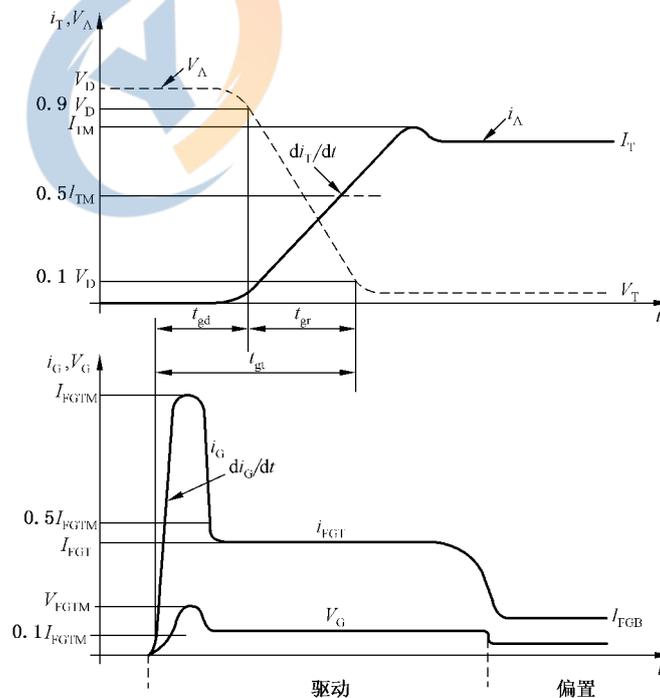


图 12 门极控制开通时间

注 1: 定义的术语系指由门极正向驱动电流脉冲使晶闸管由断态向通态的转换。

注 2: 在 3.9.15~3.9.18 中有关的电流和电压的基准值通常规定如下:

门极电流

- 规定的低值: $0.1 I_{FGTM}$;
- 测量 t_{gtw} 和 di_G/dt 的规定水平: $0.5 I_{FGTM}$ 。

阳极电压

- 规定的上限值: $0.9 V_D$;
- 规定的下限值: $0.1 V_D$ 。

在此, V_D 为开通前的断态电压。

阳极电流

- 测量 di_T/dt 的规定水平: $0.5 I_{TM}$ 。

3.9.15

门极控制开通延迟时间 gate-controlled turn-on delay time

t_{gd}

上升的门极驱动电流脉冲达到规定的较低值瞬间和下降的断态电压达到接近其初始值 V_D 的较高规定值瞬间之间的时间间隔。

注: 如不可能出现混淆, 本术语可缩写为“开通延迟时间”。

3.9.16

门极控制开通上升时间 gate-controlled turn-on rise time

t_{gr}

断态电压达到 3.9.15 中的较高规定值瞬间和断态电压下降达到接近其最终稳态值的较低规定值瞬间之间的时间间隔。

注: 如不可能出现混淆, 本术语可缩写为“开通上升时间”。

3.9.17

门极控制开通时间 gate-controlled turn-on time

t_{gt}

门极控制开通的延迟时间与上升时间之和。以式(5)给出:

$$t_{gt} = t_{gd} + t_{gr} \dots\dots\dots (5)$$

注: 如不可能出现混淆, 本术语可缩写为“开通时间”。

3.9.18

门极开通驱动脉冲持续时间 gate turn-on drive-pulse duration

t_{gtw}

在门极正向电流的两个规定值之间测量的门极正向驱动电流脉冲持续时间。

3.9.19

门极开通驱动脉冲临界持续时间 critical gate turn-on drive-pulse duration

$t_{gtw(cr)}$

不使晶闸管开通失败的门极开通驱动脉冲持续时间的最小值。

H 门极控制关断的时间和上升率(见图 13)

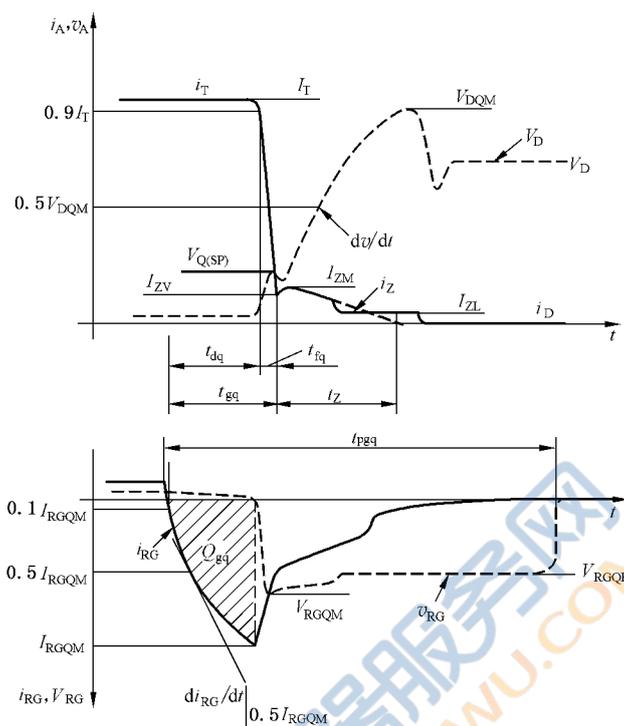


图 13 门极控制关断时间

注 1: 定义的术语系指由门极反向驱动电流脉冲使 GTO 晶闸管从通态向断态的转换, 该脉冲由附加的门极反向驱动电压脉冲提供并紧接较小的门极反向偏置电流。

注 2: 在 3.9.20~3.9.25 中有关的电流和电压的基准值通常规定如下:

门极电流

- 接近零的规定低值: $0.1 I_{RGQM}$;
- 测量 di_{RG}/dt 的规定水平: $0.5 I_{RGQM}$ 。

阳极电流

- 较高的基准值: $0.9 I_T$ 。

阳极电压

- 测量 dv/dt 的规定水平: $0.5 V_{DQM}$ 。

3.9.20

门极控制关断延迟时间 gate-controlled turn-off delay time

t_{dq}

门极反向电流上升到接近零的低基准值瞬间和阳极电流下降到接近其初始值 I_T 的较高基准值瞬间之间的时间间隔。

注: 如不可能出现混淆, 本术语可以缩写为“关断延迟时间”。

3.9.21

门极控制关断下降时间 gate-controlled turn-off fall time

t_{fq}

阳极电流下降到 3.9.20 中的较高基准值瞬间和其急剧下降结束达到谷点 I_{ZV} 瞬间之间的时间间隔。

注: 如不可能出现混淆, 本术语可以缩写为“关断下降时间”。

3.9.22

门极控制关断时间 **gate-controlled turn-off time**

t_{gq}

门极控制关断的延迟时间与下降时间之和。以式(6)给出：

$$t_{gq} = t_{dq} + t_{fq} \dots\dots\dots (6)$$

注：如不可能出现混淆，本术语可以缩写为“关断时间”。

3.9.23

尾部时间 **tail time**

t_z

阳极电流下降到 3.9.21 中的谷点 I_{zV} 瞬间和外推尾部电流至零瞬间之间的时间间隔。

注：除另有规定外，外推是用尾部峰值电流 I_{zM} 和 $0.25I_{zM}$ 两点连线进行(见图 13)。

3.9.24

门极关断驱动脉冲持续时间 **gate turn-off drive-pulse duration**

t_{pgq}

在门极反向驱动电压的两个规定值之间测量的门极反向驱动电压脉冲持续时间。

3.9.25

门极关断驱动脉冲临界持续时间 **critical gate turn-off drive-pulse duration**

$t_{pgq(cr)}$

不使晶闸管开通失败的门极开通驱动脉冲持续时间的最小值。

I 恢复电荷

3.9.26

恢复电荷(反向阻断三极晶闸管的) **recovered charge(of a reverse-blocking triode thyristor)**

Q_r

从规定的通态电流条件向规定的反向条件切换后，在规定的积分时间区间，晶闸管恢复的总电荷。

以式(7)给出：

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0+t_i} i_R dt \dots\dots\dots (7)$$

式中：

t_0 ——电流过零瞬间；

t_i ——规定的积分时间间隔(见图 14)。

注：此电荷包括由于载流子贮存和耗尽层电容引起的两部分。

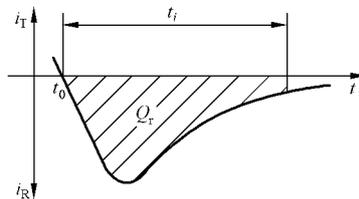


图 14 恢复电荷 Q_r

3.9.27

断态恢复电荷(反向导通三极晶闸管的) **off-state recovered charge(of a reverse-conducting triode thyristor)**

Q_{dr}

从规定的反向电流条件向规定的断态条件切换后，在规定的积分时间区间，晶闸管恢复的总电荷。

注：可参照使用 3.9.26 给出的公式和图 14。

3.9.28

门极关断电荷(GTO 晶闸管的) gate turn-off charge(of a GTO thyristor)

Q_{gq}

门极正向电流下降过零瞬间和门极反向电流达到其峰值 I_{RGQM} 瞬间之间的门极反向电流积分得到的总电荷(见图 13)。

4 文字符号

4.1 通则

GB/T 17573—1998 第 V 篇的一般规则部分适用。

4.2 附加的通用下标

除推荐 GB/T 17573—1998 第 V 篇给出的通用下标外,对于晶闸管领域,还推荐下列专用下标:

下 标	意 义	备 注
A,a	阳极	
B	偏置	仅作为最后下标时
B	基本的	仅作为最后下标时
(BO)	转折	
(com)	换向	仅作为第四下标时
D,d	断态	
D	驱动	
D	二极管	
G,g	门极	
G	门极控制	
H	维持	
h	维持关断	
K,k	阴极	
L	擎住	
Q,q	关断	
R,(REC)	反向恢复	仅在 I_{RM} 、 $I_{R(REC)}$ 或 $I_{RM(REC)}$ 中时
RC	反向导通	
(SP)	尖峰	
Sus	维持	
T	通态	
T,t	开通,触发	
T	晶闸管	
V	谷(点)	
W	工作	
Z,z	尾部	

4.3 文字符号表

对于晶闸管领域中的使用,推荐下列各表的文字符号,这些符号的编制符合通用规则。

4.3.1 主电压,阳极-阴极电压(参见图 15)

参数名称	文字符号	备注
断态电压	V_D	
断态直流电压	V_{DCD}	
断态峰值电压	V_{DM}	
断态工作峰值电压	V_{DWM}	
断态重复峰值电压	V_{DRM}	
断态不重复峰值电压	V_{DSM}	
转折电压	$V_{(BO)}$	
通态电压	V_T	
通态最低电压	V_{TMIN}	
通态门槛电压	$V_{T(TO)}$	
反向电压	V_R	
反向直流电压	V_{RCD}	
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	V_{RSM}	
反向击穿电压	$V_{(BR)}$	
反向导通门槛电压	$V_{RC(TO)}$	

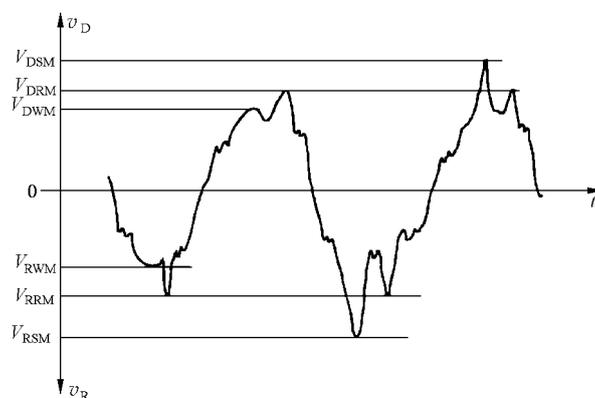


图 15 断态和反向的各额定电压的文字符号

4.3.2 主电流, 阳极电流, 阴极电流(参见图 16)

参数名称	文字符号	备注
断态电流	I_D	
转折电流	$I_{(BO)}$	
维持电流	I_H	
通态电流	I_T	
通态过载电流	$I_{(OV)}$	
通态重复峰值电流	I_{TRM}	
通态浪涌电流	I_{TSM}	
反向阻断电流	I_R	
反向重复峰值电流	I_{RRM}	
反向恢复电流	I_{RR}	
反向恢复峰值电流	I_{RM}	
擎住电流	I_L	
反向导通电流	I_{RC}	
反向导通平均电流	I_{RCAV}	
反向导通峰值电流	I_{RCM}	
反向导通过载电流	$I_{RC(OV)}$	
反向导通浪涌电流	I_{RCSM}	
通态直流电流	$I_{T(D)}$	
断态直流电流	$I_{D(D)}$	

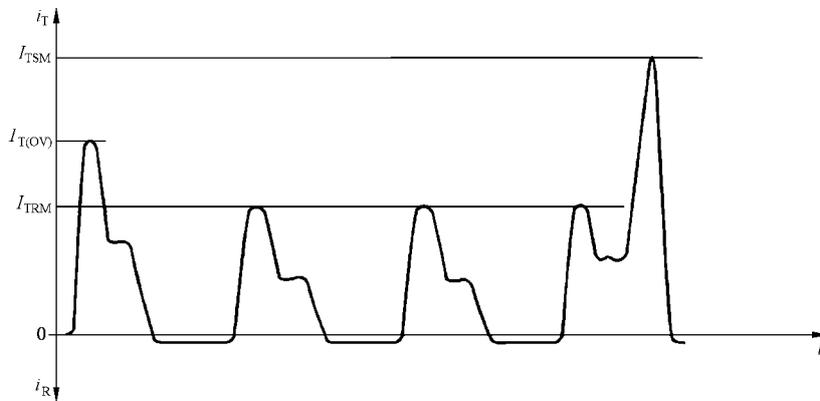


图 16 通态电流各额定值的文字符号

4.3.3 门极电压

参数名称	文字符号	备注
门极正向直流电压	V_{FG}	
门极正向峰值电压	V_{FGM}	
门极反向直流电压	V_{RG}	
门极反向峰值电压	V_{RGM}	
门极触发直流电压	V_{GT}	
门极触发最低电压	V_{GTMIN}	
门极不触发直流电压	V_{GD}	
门极关断直流电压	V_{GQ}	

4.3.4 门极电流

参数名称	文字符号	备注
门极正向直流电流	I_{FG}	
门极正向峰值电流	I_{FGM}	
门极反向直流电流	I_{RG}	
门极触发直流电流	I_{GT}	
门极不触发直流电流	I_{GD}	
门极关断直流电流	I_{GQ}	

4.3.5 时间量

参数名称	文字符号	备注
门极控制开通时间	t_{gt}	
门极控制关断时间	t_{gq}	
电路换向恢复时间 (电路换向关断时间)	t_q	
门极控制延迟时间	$t_{gd}、(t_d)$	t_d 仅当不引起误解时使用
门极控制上升时间	$t_{gr}、(t_r)$	t_r 仅当不引起误解时使用
断态恢复时间	t_{dr}	反向导通三极晶闸管的
维持关断间隔	t_H	

4.3.6 其他量

参数名称	文字符号	备注
通态斜率电阻	r_T	
换向电压临界上升率	$dv/dt(c)$ 、 $[dv/dt(com)]$	反向导通三极晶闸管优先使用 $dv/dt(c)$
断态恢复电荷	Q_{dr}	反向导通晶闸管的
通态电流脉冲的总能量	E_p 、 W_p	
反向导通斜率电阻	r_{RC}	

4.3.7 损耗功率

参数名称	文字符号	备注
通态损耗功率	P_T	
反向损耗功率	P_R	对于反向阻断和反向导通三极晶闸管
断态损耗功率	P_D	
开通损耗功率 ——开通损耗平均功率 ——开通损耗总瞬时功率 ——开通损耗峰值功率	$P_{TT(AV)}$ P_{TT} P_{TTM}	
关断损耗功率 ——关断损耗平均功率 ——关断损耗总瞬时功率 ——关断损耗峰值功率	$P_{RQ(AV)}$ 、 $P_{DQ(AV)}$ P_{RQ} 、 P_{DQ} P_{RQM} 、 P_{DQM}	
反向导通损耗功率	P_{RC}	

5 反向阻断三极晶闸管和反向导通三极晶闸管的基本额定值和特性

本章给出了(对称和不对称)反向阻断三极晶闸管和反向导通三极晶闸管的额定值和特性。这些额定值和特性是针对反向阻断晶闸管规定的,但其大多数也可以适用于反向导通晶闸管。

术语“反向阻断三极晶闸管”在文中简称“晶闸管”。

5.1 热条件

晶闸管应规定为环境额定器件或管壳额定器件。

在较高频率时,快开关晶闸管的电流额定值以较复杂的方式取决于通态、开通、关断和门极损耗功率,因此,额定值还应取决于频率。

除了给出规定管壳温度时的电流额定值外,还应知道平均损耗功率以计算必需的冷却条件。为此,应给出平均损耗功率或一个脉冲总损耗能量。如给出了单脉冲的损耗能量,则用它乘重复频率即得到平均损耗功率。

5.1.1 推荐温度

很多额定值和特性需要引用 25 °C 和另一规定温度。除另有说明外,另一规定温度制造厂应从 GB/T 17573—1998 推荐的温度一览表中选取,另外,可采用 -40 °C 和 35 °C。

5.1.2 额定条件

应说明额定值是在下列一个或几个热条件下给出。

A 环境额定晶闸管

——自然对流

在 25 °C 和一较高温度(见 5.1.1)的条件下,应规定冷却流体和压力(对于气体)。

大气压力最少是 90 kPa(900 mbar),相当于海拔 1 000 m 处的最大压力。

——强迫循环

在采用推荐温度一览表(见 5.1.1)中选取温度的条件下,应规定冷却流体的种类、压力和流量。

B 管壳额定晶闸管

在采用推荐温度一览表中(见 5.1.1)的管壳温度的条件下。

注:对小型晶闸管,可规定为一个端子的温度。

5.2 电压和电流额定值(极限值)

对于特定器件,下列额定值应在规定的工作条件整个范围有效。

A 阳极-阴极电压

5.2.1 反向不重复峰值电压(V_{RSM})

最大额定值。如在较高频率工作时该值应降额,并应给出降额因数或降额曲线。

5.2.2 反向重复峰值电压(V_{RRM})

最大额定值。如在较高频率工作时该值应降额,并应给出降额因数或降额曲线。

5.2.3 反向工作峰值电压(V_{RWM})(适用时)

电源频率通常为 50 Hz 或 60 Hz(持续时间 10 ms 或 8.3 ms)的正弦半波波形的反向重复电压最大额定值。

5.2.4 反向直流电压(V_R)(适用时)

最大额定值。

5.2.5 断态不重复峰值电压(V_{DSM})

最大额定值。如在较高频率工作时,该值应降额,并应给出降额因数或降额曲线。

5.2.6 断态重复峰值电压(V_{DRM})

最大额定值。如在较高频率工作时,该值应降额,并应给出降额因数或降额曲线。

5.2.7 断态工作峰值电压(V_{DWM})(适用时)

电源频率通常为 50 Hz 或 60 Hz(持续时间 10 ms 或 8.3 ms)的正弦半波波形的断态重复电压最大额定值。

5.2.8 断态直流电压($V_{D(D)}$)(适用时)

在规定控制信号和门极电路阻抗条件下的最大额定值。

B 门极电压

加在 P 门极晶闸管门极端和阴极端之间(门极为正时为正向门极电压)或 N 门极晶闸管阳极端和门极端之间(阳极为正时为正向门极电压)的电压(参见图 17)。



图 17 施加在晶闸管上的门极电压

5.2.9 门极正向峰值电压(阳极相对于阴极为正)(V_{FGM})

最大额定值。

5.2.10 门极正向峰值电压(阳极相对于阴极为负)(V_{FGM})

最大额定值。

5.2.11 门极反向峰值电压(V_{RGM})(适用时)

最大额定值。

C 通态电流

5.2.12 通态平均电流($I_{T(AV)}$)

应以图示规定在 50 Hz 或 60 Hz 时具有 180°导通角的正弦半波和各种导通角至少 180°和 120°的梯形脉冲,并作为环境或管壳温度的函数的连续工作的通态平均电流最大额定值。

作为某些特性的基准值(见 5.4),180°导通角的正弦半波最大额定值宜作为示例在 45 °C 环境温度或 85 °C 管壳温度条件下给出。

注:通态平均电流最大额定值是在假定无过载发生的条件下给出的。

5.2.13 通态重复峰值电流(I_{TRM})(适用时)

连续工作时的最大额定值。此额定值应表示与通态电流导通角、冷却条件及工作频率相关。

5.2.14 通态方均根电流($I_{T(RMS)}$)(适用时)

连续工作时的最大额定值。

5.2.15 通态过载电流($I_{T(OV)}$)(适用时)

此额定值应以说明额定最高等效结温和最大瞬态热阻抗的方式给出。另外,过载电流额定值可用图示的方法给出。

5.2.16 通态浪涌电流(I_{TSM})

此额定值应在对应于额定最高等效结温的初始条件下给出。另外,可以给出对应于较低初始等效结温的值。

浪涌电流额定值应以下列时间期间给出:

- a) 时间小于半个周期(50 Hz 或 60 Hz 的),但近似大于 1 ms,最大额定值表示为:

$$\int i^2 dt$$

此额定值可用曲线或规定的几个值给出,并假定紧接浪涌后不施加反向电压或断态电压。

注:对于具有分布门极或叉指式门极的快开通晶闸管或快速等离子式扩展晶闸管还需要时间小于 1 ms 时的值。

- b) 时间等于或大于半个周期而小于 15 个周期(50 Hz 或 60 Hz 的),表示为额定最大浪涌电流与时间的关系曲线,并应假定产生了门极控制的暂态损耗。

这些额定值宜优先给出反向电压等于 80% 最高反向重复峰值电压时的值。另外,可给出反向电压等于最高反向重复峰值电压的 50% 或 100% 时的额定值。

- c) 时间等于一个周期,不施加反向电压。

5.2.17 通态直流电流(I_{TD})(适用时)

最大额定值。

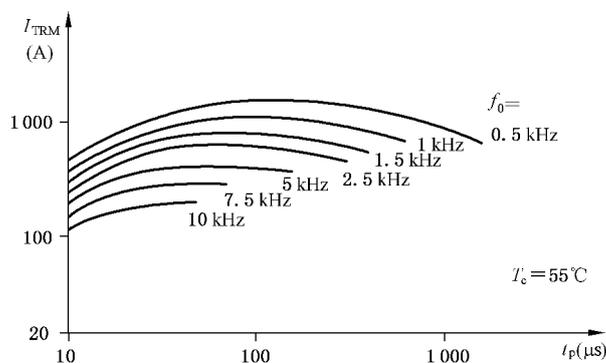
5.2.18 较高频率正弦波通态峰值电流(I_{TRM})(适用时)

在下列规定条件下,以重复频率为参变量,表示额定最大通态峰值电流与正弦半波脉冲持续时间

的关系曲线:

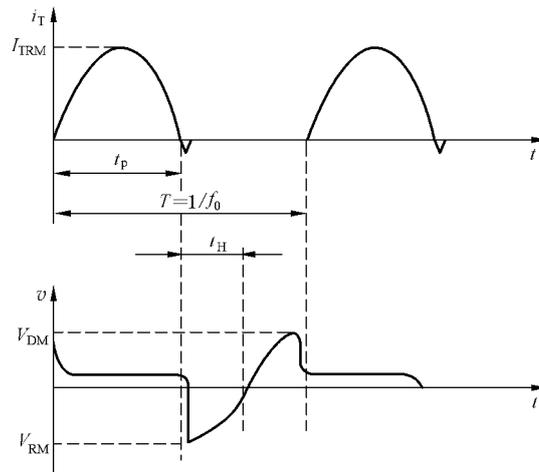
- 管壳温度;
- 开通前断态电压;
- 反向电压;
- 开通和关断期间的门极条件;
- RC 阻尼网络(吸收器)。

图 18a) 给出一个示例,图 18b) 是为说明图 18a) 而给出的。



a) 额定最大正弦波通态峰值电流 I_{TRM} (见图 18b) 与脉冲持续时间 t_p 的关系曲线
参变量: 重复频率 $f_0 = 1/T$

图 18 额定最大正弦波通态峰值电流



说明：

t_H ——维持关断间隔(见 3.9.14)。

注：脉冲波形包括由于 RC 阻尼网络的电流脉冲。

b) 典型的正弦波通态电流脉冲的电流和电压的波形

图 18 (续)

5.2.19 较高频率梯形波通态峰值电流 (I_{TRM}) (适用时)

在下列规定条件下,表示额定最大通态电流值与通态电流上升率、重复频率及占空比(或脉冲持续时间)的关系曲线:

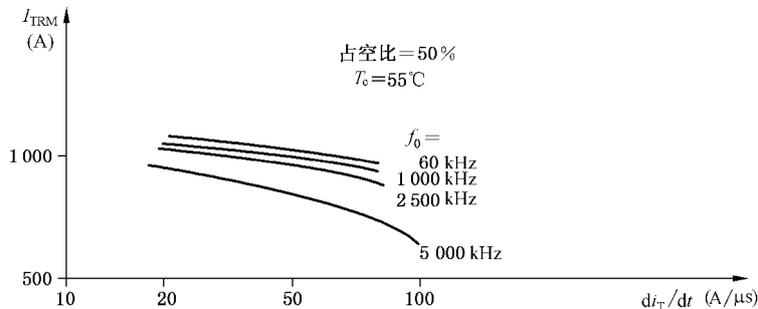
- a) 管壳温度;
- b) 开通前断态电压;
- c) 反向电压;

注:由于此额定值与施加反向电压密切相关,因而推荐给出两条或更多条曲线的曲线族。

- d) 在开通和关断期间的门极条件;
- e) RC 阻尼网络(吸收器);
- f) 占空比或脉冲持续时间。

图 19a)和图 19b)给出了示例。

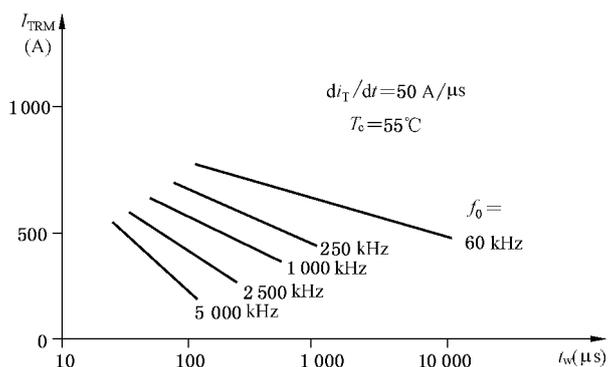
图 19c)是为说明图 19a)和图 19b)而给出的。



a) 规定 t_w [见图 19c)] 时的额定最大梯形波通态峰值电流 I_{TRM} 与通态电流上升率的关系曲线

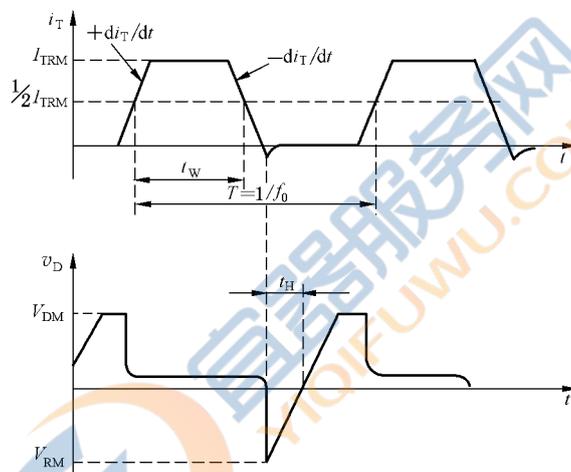
参变量:重复频率 $f_0 = 1/T$

图 19 额定最大梯形波通态峰值电流



注：不同的 di_T/dt 值需要不同的曲线族。

b) 规定 di_T/dt [见图 19c)] 时的额定最大梯形波通态峰值电流 I_{TRM} 与 t_w 的关系曲线
参变量：重复频率 $f_0 = 1/T$



说明：

t_H ——维持关断间隔(见 3.9.14)。

c) 典型的梯形波通态电流脉冲的电流和电压的波形

图 19 (续)

5.2.20 通态电流临界上升率 (di/dt)

在下列规定条件下的最大额定值：

- a) 断态电压(开通前), 优先等于 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压；
- b) 通态峰值电流；
- c) 重复频率, 优先 50 Hz 或 60 Hz；
- d) 环境温度或管壳温度, 等于通态峰值电流允许的最高温度；
- e) 门极触发条件；
- f) 试验持续时间(持续时间应大于器件的热时间常数, 如 5s)。

注 1: di/dt 额定值不适用于小电流晶闸管。

注 2: di/dt 额定值宜在无 RC 网络与晶闸管并联的情况下给出。如又给出有 RC 网络的 di/dt 额定值, 则应说明该网络允许的浪涌电流幅值和持续时间, 或该网络的参数。

5.2.21 管壳不破裂峰值电流 (I_{RSMC})

“管壳不破裂峰值电流”应规定为极限值, 适用时, 为在规定的初始管壳温度(优先 25 °C)、三角波电

流上升率(优先 $25 \text{ A}/\mu\text{s}$)和脉冲持续时间条件下的该电流最大值。

注 1: 大型交流设备中使用的若干只并联的大电流晶闸管(平均电流约 $1\,000 \text{ A}$ 及以上)是需要“管壳不破裂峰值电流”的,当一只晶闸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。

注 2: 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。

注 3: 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。

D 门极电流

5.2.22 门极正向峰值电流(I_{FGM})

在规定阳极-阴极电压极性条件下的最大额定值。

注: 用于此额定值的任何限定(如时间、能量等)应加以说明。

5.3 其他额定值(极限值)

5.3.1 频率额定值

适用时,系指电压和电流额定值适用的最高和(或)最低频率。

A 损耗功率额定值

5.3.2 门极损耗峰值功率(P_{GM})

规定脉冲持续时间的最大额定值。

B 温度额定值

5.3.3 环境额定和管壳额定的晶闸管

冷却流体或管壳的额定最低和最高温度。

5.3.4 贮存温度(T_{stg})

最小和最大额定值。

5.3.5 等效结温(T_j)(适用时)

最大额定值。

5.4 电特性

除另有说明外,在 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 的环境温度或管壳温度条件下。

5.4.1 通态特性(适用时)

表示通态电压瞬时值和通态电流瞬时值的关系曲线,其电流至通态重复峰值电流最大额定值,环境温度或管壳温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 和优先等于额定最高等效结温的较高温度。

5.4.2 通态电压(V_T)

在额定最高等效结温或管壳温度(或环境温度)为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, π 倍额定通态平均电流的峰值电流时的最大值。

注 1: π 可以取为 3。

注 2: 在工作条件下计算通态损耗功率的基准值是最高等效结温时的通态电压。但是, 如该值和 25 °C 时的值之间存在一个好的确定关系, 为试验的方便, 可给出 25 °C 时的值。

5.4.3 维持电流 (I_H)

在下列规定条件下的最大值和适用时的最小值:

- a) 主电路中的电源电压, 优先等于 12 V;
- b) 门极偏置条件;
- c) 起始通态峰值电流。

注: 维持电流的最大值是保持给定型号的所有晶闸管处于通态的最小电流; 维持电流的最小值是低于该值时将使给定型号所有晶闸管返回断态的最大电流。

5.4.4 擎住电流 (I_L)

在下列规定条件下的最大值:

- a) 主电路中的电源电压, 优先等于 12 V;
- b) 触发脉冲: 上升时间、下降时间、持续时间、幅值和触发脉冲发生器内阻。

注: 擎住电流的最大值是保持给定型号的所有晶闸管紧接触发条件移除后仍处于通态的最小电流。

5.4.5 断态重复峰值电流 (I_{DRM})

在 25 °C 和额定最高等效结温 (如适用) 及额定断态重复峰值电压条件下的最大值。

5.4.6 反向重复峰值电流 (I_{RRM})

在 25 °C 和额定最高等效结温 (如适用) 及额定反向重复峰值电压条件下的最大值。

5.4.7 门极触发电流和门极触发电压 (I_{GT}, V_{GT})

使给定型号的所有晶闸管开通所需要的门极电流值和门极电压值。

应规定下列条件:

- a) 断态电压, 优先等于 12 V;
- b) 门极电路条件;
- c) 环境温度或管壳温度。

5.4.8 门极不触发电流和门极不触发电压 (I_{GD}, V_{GD})

不使给定型号的所有晶闸管开通的门极电流值和门极电压值。

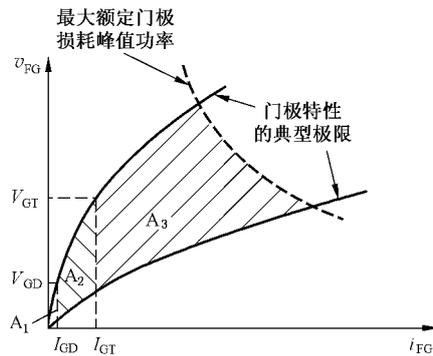
应规定下列条件:

- a) 断态电压, 优先等于 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压;
- b) 门极电路条件;
- c) 环境温度或管壳温度, 优先等于额定最高等效结温。

门极的极限值和特性的图示:

门极的极限值和特性参照图 20 所示给出, 并指出具有门极触发电流下限的一定触发区。

注: 门极不触发电压值和电流值在额定最高等效结温条件下给出。门极触发电压和电流在 25 °C 和最低工作结温条件下给出。



说明：

I_{GD} ——门极不触发电流；

A_1 ——不触发区；

I_{GT} ——门极触发电流；

A_2 ——不一定触发区；

V_{GD} ——门极不触发电压；

A_3 ——一定触发区。

V_{GT} ——门极触发电压；

图 20 门极正向电压与门极正向电流的关系

5.4.9 门极控制延迟时间 (t_{gd})

在下列规定条件下的典型值和适用时的最大值和(或)最小值：

- 门极电流幅值和门极电路阻抗；
- 门极脉冲上升时间, 优选 $0.5 \mu\text{s}$ ；
- 门极脉冲最短持续时间, 优选 2 倍规定的延迟时间；
- 断态电压(开通前), 优选 0.5 倍额定最高断态重复峰值电压。

5.4.10 电路换向关断时间 (t_q)

在下列规定条件下的最大值：

- 先前的通态电流波形。

注 1: 波形应优先是矩形波且持续时间足够长以使电荷载流子达到平衡。幅值优先等于 3 倍额定通态平均电流。

- 环境温度或管壳温度, 等于通态峰值电流允许的最高结温。
- 反向阻断电压的波形。
- 断态电压开始时的反向电压(见图 21 中的 t_1 瞬间)。

- 断态电压的峰值和上升率。

注 2: 断态电压的峰值应至少等于 $2/3$ 倍额定断态重复峰值电压。

- 晶闸管处于断态时门极偏置条件：

——门极电源电压；

——门极电源阻抗。

- 通态电流下降率 ($-di/dt$)。

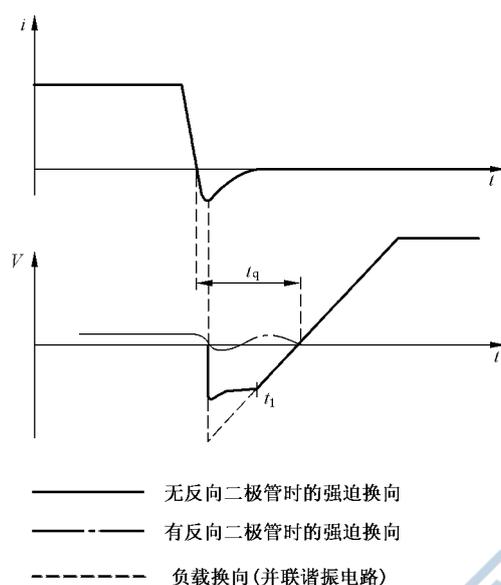


图 21 各种电路条件下晶闸管关断期间的电流和电压波形示例

5.4.11 断态电压临界上升率(dv/dt)

以近似线性方式上升施加电压的上升率最大值。

应规定下列条件：

- a) 环境温度或管壳温度, 优先等于额定最高等效结温；
- b) 断态峰值电压, 优先等于 $2/3$ 倍额定最高断态重复峰值电压；
- c) 规定的波形(线性的或指数式的)；
- d) 门极偏置条件；
- e) 开关重复频率。

5.4.12 总损耗功率(P_{tot})

仅对管壳额定晶闸管, 表示在最高等效结温、最高反向重复峰值电压和最高断态重复峰值电压条件下, 总损耗功率最大值与通态平均电流和导通角之间的关系曲线。对 5.2.12 规定的每一个工作条件都应给出曲线。

5.4.12.1 在一个正弦半波通态电流脉冲期间的总损耗能量(E_p)(适用时)

表示在下列规定条件下, 由开通、通态和反向恢复能量组成的总损耗能量最大值与通态峰值电流和脉冲持续时间之间的关系曲线：

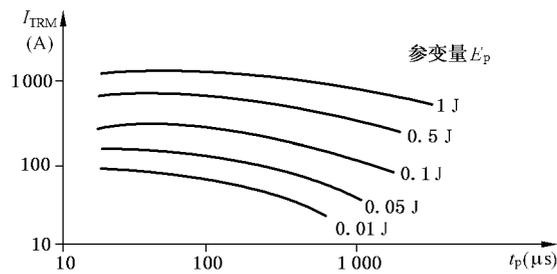
注 1: 总损耗能量最大值的曲线在达到最高工作结温的条件下给出。

- a) 开通前的断态电压。
- b) 反向电压。

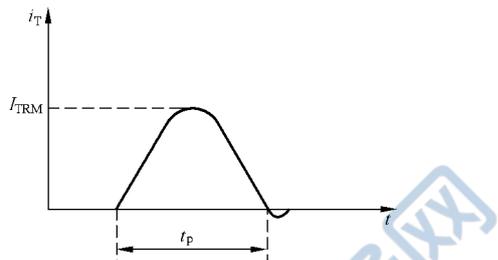
注 2: 由于与反向恢复损耗密切相关, 推荐对不同的反向电压给出两条或更多条曲线的曲线族, 使之能计算反向恢复损耗。

- c) 在开通和关断期间的门极条件。
- d) RC 阻尼网络(吸收器)。

图 22a) 是一个示例, 图 22b) 是为说明图 22a) 而给出。



a) 具有持续时间 t_p 和幅值 I_{TRM} 的一个正弦半波通态电流脉冲期间的总损耗能量 E_p



b) 一个正弦半波通态电流脉冲

图 22 一个正弦半波通态电流脉冲期间的总损耗能量

5.4.12.2 在一个梯形波通态电流脉冲期间的总损耗能量 (E_p) (适用时)

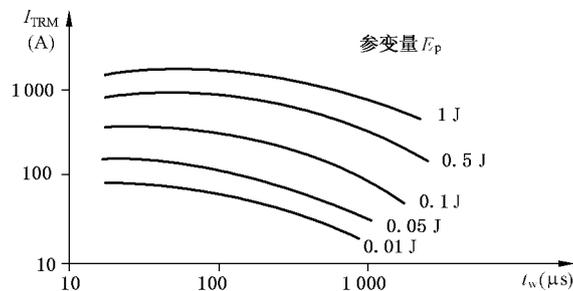
在下列规定条件下,表示总损耗能量最大值与通态电流最大值和脉冲持续时间的关系曲线:

- a) 开通前的断态电压。
- b) 反向电压。

注: 由于和反向恢复损耗密切相关,推荐对不同的反向电压给出两条或更多条曲线的曲线族,使之能计算反向恢复损耗。

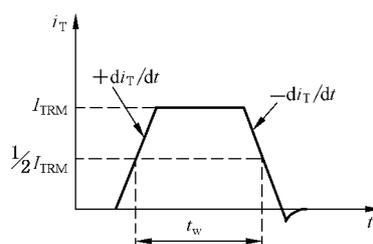
- c) 开通和关断期间的门极条件。
- d) RC 阻尼网络(吸收器)。
- e) 通态电流上升率和下降率。

图 23a) 是一个示例,图 23b) 是为说明图 23a) 而给出。



a) 具有持续时间 t_w 和幅值 I_{TRM} 的一个梯形波通态电流脉冲期间的总损耗能量 E_p

图 23 一个梯形波通态电流脉冲期间的总损耗能量



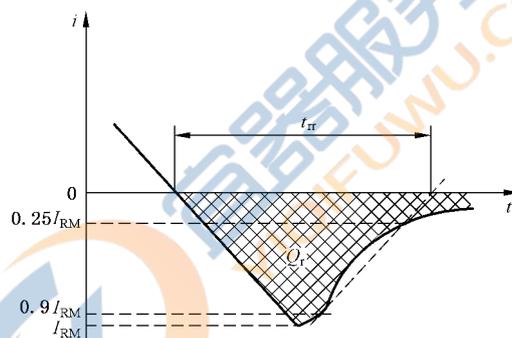
b) 一个梯形波通态电流脉冲

图 23 (续)

5.4.13 恢复电荷(Q_r)(适用时),见图 24

在下列规定条件下的最大值,或最大值和最小值:

- 通态电流,优先等于额定最大通态平均电流的峰值;
- 通态电流下降率 $-di/dt$;
- 反向电压,优先等于 0.5 倍额定最高反向重复峰值电压(见 5.2.2);
- 环境温度或管壳温度,等于通态峰值电流允许的最高温度。

图 24 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)5.4.14 反向恢复峰值电流(I_{RM})(适用时),见图 24

在 5.4.13, a)~d) 规定条件下的最大值。

5.4.15 反向恢复时间(t_{rr})(适用时),见图 24

在 5.4.13, a)~d) 规定条件下的最大值。

5.5 热特性

5.5.1 结-环境热阻($R_{th(j-a)}$)

仅对环境额定的晶闸管,最大值。

5.5.2 结-管壳热阻($R_{th(j-c)}$)

仅对管壳额定的晶闸管,最大值。

5.5.3 管壳-散热器热阻($R_{th(c-h)}$)

仅对管壳额定的晶闸管,最大值。

5.5.4 结-散热器热阻($R_{th(j-h)}$)

仅对散热器额定的晶闸管,最大值。

5.5.5 结-环境瞬态热阻抗($Z_{th(j-a)}$)

仅对环境额定的晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-a)}$ 与时间的关系曲线。

5.5.6 结-管壳瞬态热阻抗($Z_{th(j-c)}$)

仅对管壳额定的晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-c)}$ 与时间的关系曲线。

5.5.7 结-散热器瞬态热阻抗($Z_{th(j-h)}$)

仅对散热器额定的晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-h)}$ 与时间的关系曲线。

5.6 机械特性和其他数据

见 GB/T 17573—1998。

5.7 应用资料

晶闸管或晶闸管堆的串、并联应用的特殊要求事项,应查阅制造厂提供的详细资料。

6 双向三极晶闸管的基本额定值和特性

6.1 热条件

双向三极晶闸管应规定为环境额定器件或管壳额定器件或散热器额定器件。

6.1.1 推荐温度

很多额定值和特性需要引用 25 °C 和另一规定温度。

除另有说明外,制造厂应从 GB/T 17573—1998 推荐的温度一览表选取另一规定温度;另外,可采用 -40 °C 和 +35 °C。

6.1.2 额定条件

应说明额定值在下列一个或几个热条件下给出。

A 环境额定双向三极晶闸管

——自然对流

在 25 °C 和另一较高温度(见 6.1.1)条件下,应规定冷却流体和压力(对气体情况)。

大气压力最少是 90 kPa(900 mbar),相当于海拔 1 000 m 处的最高气压。

——强迫循环

在采用推荐温度一览表(见 6.1.1)中选取温度的条件下,应规定冷却流体的种类、压力和流量。

B 管壳额定或散热器额定的双向三极晶闸管

在采用推荐温度一览表(见 6.1.1)中选取管壳温度或散热器温度的条件下。

注：对小型双向三极晶闸管，可以规定为一个端子的温度。

6.2 电压和电流额定值(极限值)

对于特定器件，下列额定值应在规定的整个工作条件范围有效。

这里推荐的额定值是基于器件主电压两个方向对称工作，因此，对两个工作方向宜给出相等的极限值。如某个额定值对门极触发方式敏感，则应规定适用的一种或两、三种触发方式。

A 主电压

6.2.1 断态不重复峰值电压(V_{DSM})

最大额定值。如在较高频率工作时，该值应降额，并应给出降额因数或降额曲线。

6.2.2 断态重复峰值电压(V_{DRM})

最大额定值。如在较高频率工作时，该值应降额，并应给出降额因数或降额曲线。

6.2.3 断态工作峰值电压(V_{DWM})

电源频率通常为 50 Hz 或 60 Hz(持续时间 10 ms 或 8.3 ms)的正弦半波波形的断态重复电压最大额定值。

B 门极电压

门极电压是施加在双向三极晶闸管门极端和主端 1 之间的电压，主端 1 为门极电压极性的基准点。

6.2.4 正门极峰值电压(V_{FGM})

最大额定值。

6.2.5 负门极峰值电压(V_{RGM})

最大额定值。

C 主电流

6.2.6 通态方均根电流($I_{T(RMS)}$)

表示在相控和正弦全波条件下，通态方均根电流最大额定值与环境温度或管壳温度或散热器温度的关系曲线。按某些特性的基准值要求，应以 45 °C 环境温度或 85 °C 管壳温度或其他规定温度时的正弦全波通态电流极限值作为示例给出。

注：额定通态方均根电流在假定无过载发生的条件下给出。

6.2.7 通态重复峰值电流(I_{TRM})(适用时)

最大额定值。此额定值应以与导通角的关系表示。

6.2.8 通态过载电流($I_{T(OV)}$)

此额定值适用时，应以说明额定最高等效结温和最大瞬态热阻抗的方式给出。另外，过载电流额定值可用图示的方法给出。

6.2.9 通态浪涌电流(I_{TSM})

此额定值应在额定最高等效结温的初始条件下给出。另外，可给出对应某些较低初始等效结温的值。

浪涌电流额定值应以下列时间期间给出：

- a) 时间小于半个周期(50 Hz 或 60 Hz 的),但近似大于 1 ms,最大额定值表示为：

$$\int i^2 dt$$

此额定值可用曲线或规定的几个值给出,此额定值适用于主电压两个极性的任一极性,并假定紧接浪涌后不施加断态电压；

- b) 时间等于或大于一个整周期而小于 15 个周期(50 Hz 或 60 Hz 的),表示为额定最大浪涌电流与时间的关系曲线,并应假定产生了门极控制的暂态损耗；
这些额定值以 50 Hz 或 60 Hz 整周期的正弦浪涌电流给出。

6.2.10 通态电流临界上升率(di/dt)

在下列规定条件下的最大额定值：

- a) 开通前断态电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压(见 5.2.6)；
b) 通态峰值电流,优先等于规定 85 °C 管壳温度或环境温度时的 $\sqrt{2}$ 倍通态方均根电流(见 5.2.14)；
c) 重复频率,优先等于 50 Hz 或 60 Hz；
d) 环境温度或管壳温度或结温,等于通态峰值电流允许的最高温度；
e) 门极触发条件。

注 1: di/dt 额定值不适用于小电流双向三极晶闸管。

注 2: di/dt 额定值宜于在无 RC 网络与双向三极晶闸管并联的情况下给出。如又给出有 RC 网络的 di/dt 额定值,则应说明该网络允许的浪涌电流幅值和持续时间,或该网络的参数。

6.2.11 门极电流

6.2.11.1 正门极峰值电流(I_{FGM})

最大额定值。

6.2.11.2 负门极峰值电流(I_{RGM})

最大额定值。

6.3 其他额定值(极限值)

6.3.1 频率额定值

适用时,系指电压和电流额定值(见 6.2)适用的最高和(或)最低频率。

A 损耗功率额定值:门极损耗功率

6.3.2 门极平均功率($P_{G(AV)}$)

最大额定值。

6.3.3 门极峰值功率(P_{GM})

最大额定值。如这些额定值与温度或工作制有关,则应给出降额资料。

B 温度额定值

6.3.4 环境额定和管壳额定的双向三极晶闸管

额定环境温度或额定管壳温度的最小值和最大值。

6.3.5 贮存温度(T_{stg})

最小额定值和最大额定值。

6.3.6 等效结温(T_j)

最小额定值和最大额定值。

6.4 电特性(除另有说明外,在环境温度或管壳温度 25 °C 时)

这里推荐的特性是基于器件主电压两个方向对称工作。因此,应给出两个工作方向的极限值。如某个特性对门极触发方式敏感,则应规定适用的一种或两、三种触发方式。

6.4.1 通态特性(适用时)

表示通态电压瞬时值和通态电流瞬时值的关系曲线,其电流至通态重复峰值电流最大额定值,环境温度或管壳温度为 25 °C 和优先等于额定最高等效结温的较高温度。

此特性应采用脉冲法测量,以使结温近似等于管壳温度。

6.4.2 通态电压(V_T)

在 $\sqrt{2}$ 倍额定最大通态方均根电流(见 5.2.14)的峰值电流时的最大值。

6.4.3 维持电流(I_H)

在下列规定条件下的最大值和适用时的最小值:

- a) 断态电压,优先等于 12 V;
- b) 门极偏置条件。

注:维持电流的最大值是保持给定型号的所有双向三极晶闸管处于通态的最小电流;维持电流的最小值是低于该值时将使给定型号所有双向三极晶闸管返回断态的最大电流。

6.4.4 擎住电流(I_L)

在下列规定条件下的最大值:

- a) 断态电压,优先等于 12 V;
- b) 触发脉冲:上升时间、下降时间、持续时间、幅值和触发脉冲发生器内阻。

注:擎住电流的最大值是保持给定型号的所有双向三极晶闸管紧接触发条件移除后仍处于通态的最小电流。

6.4.5 断态重复峰值电流(I_{DRM})

在额定最高断态重复峰值电压和额定最高等效结温条件下的最大值。

6.4.6 断态电压临界上升率(dv/dt)

在规定开关重复频率、等效结温和门极偏置的条件下,以近似线性或指数式从零开始施加电压,并至少上升到 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压的上升率最大值。

应规定下列条件:

- a) 环境温度或管壳温度,优先等于额定最高等效结温;
- b) 断态峰值电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复电压(见 6.2.2);
- c) 门极偏置条件。

6.4.7 换向电压临界上升率(dv/dt (c))

在下列规定条件下的最大值:

- a) 通态峰值电流,优先等于环境额定 25 °C 或管壳额定 85 °C 时的 $\sqrt{2}$ 倍额定最大通态方均根电流(见 6.2.6);
- b) 持续时间(推荐为正弦半波的 90%)和过零点时通态电流的反向下降率;
- c) 断态峰值电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压(见 6.2.2);
- d) 环境温度或管壳温度,优先等于额定最高等效结温;
- e) 门极偏置条件。

6.4.8 门极触发电流和门极触发电压(I_{GT}, V_{GT})

在规定的较低主电压条件下,使给定型号的所有双向三极晶闸管开通需要的最小门极电流值和最小门极电压值。

应规定下列条件:

- a) 断态电压,优先等于 12 V;
- b) 门极电路条件;
- c) 环境温度、管壳温度或结温。

影响此两个特性值的任何其他条件亦应规定。

6.4.9 门极不触发电流和门极不触发电压(I_{GB}, V_{GB})

在额定断态重复峰值电压条件下,不使给定型号的所有双向三极晶闸管开通的最大门极电流值和最大门极电压值。

应规定下列条件:

- a) 断态电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压(见 6.2.2);
- b) 环境温度或管壳温度,优先等于额定最高等效结温;
- c) 门极电路条件。

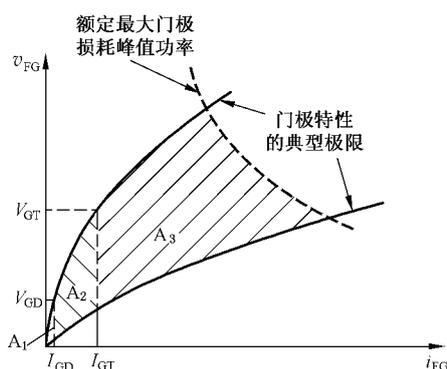
影响这两个特性值的任何其他条件亦应规定。

门极的极限值和特性的图示

门极的极限值和特性优先参照图 25 所示给出,并指出具有门极触发电流下限的一定触发区。

注 1: 门极不触发电压和电流在额定最高等效结温条件下给出。门极触发电压和电流在 25 °C 和最低工作结温条件下给出。

注 2: 如图 25 给出的特性随不同象限而不同,则应予说明。



说明:

I_{GD} ——门极不触发电流;

I_{GT} ——门极触发电流;

V_{GD} ——门极不触发电压;

V_{GT} ——门极触发电压;

A_1 ——不触发区;

A_2 ——不一定触发区;

A_3 ——一定触发区。

图 25 门极正向电压与门极正向电流的关系

6.4.10 门极控制开通延迟时间(t_{gd})

在下列规定条件下的典型值和适用时的最大值:

- 门极电流幅值;
- 门极电流上升时间, 优先等于 $0.5 \mu\text{s}$;
- 门极脉冲最短持续时间, 优先等于双向三极晶闸管的两倍规定的延迟时间;
- 开通前的断态电压, 优先等于 0.5 倍额定最高断态重复峰值电压(见 6.2.2)。

6.4.11 总损耗功率(P_{tot})

表示在 50 Hz 或 60 Hz 时的最大总损耗功率与正弦波通态方均根电流的关系曲线。

当适用时, 通态损耗功率、开通损耗功率和关断损耗功率应分别规定。

6.5 热特性

6.5.1 结-环境热阻($R_{th(j-a)}$)

仅对环境额定的双向三极晶闸管, 最大值。

6.5.2 结-管壳热阻($R_{th(j-c)}$)

仅对管壳额定的双向三极晶闸管, 最大值。

6.5.3 管壳-散热器热阻($R_{th(c-h)}$)

仅对管壳额定的双向三极晶闸管, 最大值。

6.5.4 结-散热器热阻($R_{th(j-h)}$)

仅对散热器额定的双向三极晶闸管, 最大值。

6.5.5 结-环境瞬态热阻抗($Z_{th(j-a)}$)

仅对环境额定的双向三极晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-a)}$ 与时间的关系曲线。

6.5.6 结-管壳瞬态热阻抗($Z_{th(j-c)}$)

仅对管壳额定的双向三极晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-c)}$ 与时间的关系曲线。

6.5.7 结-散热器瞬态热阻抗($Z_{th(j-h)}$)

仅对散热器额定的双向三极晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-h)}$ 与时间的关系曲线。

6.6 机械特性和其他数据

见 GB/T 17573—1998。

6.7 应用资料

双向三极晶闸管或晶闸管堆的串、并联应用的特殊要求事项,应查阅制造厂提供的详细资料。

7 门极关断晶闸管(GTO 晶闸管)的基本额定值和特性

7.1 热条件

GTO 晶闸管应规定为环境额定器件或管壳额定器件或散热器额定器件。

7.1.1 推荐温度

很多额定值和特性需要引用 25 °C 和另一规定温度。

除另有说明外,制造厂应从 GB/T 17573—1998 推荐的温度一览表中选取另一规定温度;另外,可采用 -40 °C 和 +35 °C。

7.1.2 额定条件

应说明 7.2 中的额定值是在下列一个或几个热条件下给出。

A 环境额定的 GTO 晶闸管

——自然对流

在 25 °C 和一较高温度(见 7.1.1)条件下,应规定冷却流体和压力(对气体情况)。

大气压力最少是 90 kPa(900 mbar),相当于海拔 1 000 m 处的最高气压。

——强迫循环

在采用推荐温度一览表(见 7.1.1)中选取温度的条件下,应规定冷却流体的种类、压力和流量。

B 管壳额定或散热器额定的 GTO 晶闸管

在采用推荐温度一览表(见 7.1.1)中选取管壳温度或散热器温度的条件下。

注:对小型 GTO 晶闸管,可规定为一个端子的温度。

7.2 电压和电流的额定值(极限值)

除另有说明外,对于特定器件,下列额定值应在规定的整个工作条件范围有效。

A 阳极-阴极电压

7.2.1 反向不重复峰值电压(V_{RSM})

反向不重复电压脉冲的最大额定峰值。

7.2.2 反向重复峰值电压(V_{RRM})

反向重复电压脉冲的最大额定峰值。

7.2.3 反向直流电压($V_{R(D)}$)(适用时)

最大额定值。

7.2.4 断态不重复峰值电压(V_{DSM})(适用时)

在规定的门极条件下,断态不重复电压脉冲的最大额定峰值。

7.2.5 断态重复峰值电压(V_{DRM})

在规定的门极条件下,断态重复电压脉冲的最大额定峰值。

7.2.6 断态直流电压($V_{D(D)}$)(适用时)

最大额定值。

B 门极电压

7.2.7 门极关断电压(V_{RG})

门极关断电路的驱动电压的最大额定值。当(反向)门极关断电流开始下降时,在短时间由于门极电路的电感将使门极电压超过 V_{RG} 值。

C 通态电流

7.2.8 通态可控不重复峰值电流(I_{TQSM})

在下列规定条件下的最大额定值:

- 额定最高等效结温;
- 再加断态电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍的额定最高断态重复峰值电压;
- 再加断态电压上升率;
- 关断尖峰电压;
- 门极电路的驱动电压,优先等于额定最高门极关断电压;
- 门极关断电流上升率。

7.2.9 通态可控重复峰值电流(I_{TQRM})

在下列规定条件下的最大额定值:

- 在关断过程终点达到额定最高等效结温;
- 再加断态电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍的额定最高断态重复峰值电压;
- 再加断态电压上升率;
- 关断尖峰电压;
- 门极电路的驱动电压,优先等于额定最高门极关断电压;
- 门极关断电流上升率。

7.2.10 通态方均根电流(I_{TRMS})(适用时)

在连续工作条件下的最大额定值。

7.2.11 短时和间断的工作电流

由总损耗功率、瞬态热阻抗和额定最高等效结温,使用附录 A 的公式,可计算短时或间断工作条件下的额定最大通态电流。

7.2.12 通态浪涌电流(I_{TSM})

在下列条件下的最大额定峰值:

- a) 初始条件为额定最高等效结温。此外,可给出初始条件为较低等效结温的曲线图。
- b) 施加通态电流后,无再加断态电压或反向电压。此外,可给出具有再加反向电压规定值的曲线图。
- c) 对如下的波形和时间期间,以 $\int i^2 dt$ 的额定最大 $I^2 t$ 值的形式给出:
 - 1) 50 Hz 或 60 Hz 的一个正弦半波;
 - 2) 对于 0.1 ms 和 10 ms 之间的时间。

这些额定值可用曲线或几个规定值给出。

注:虽然通态浪涌电流额定值是对正弦半波给出的,根据经验,这些额定值也近似适用于三角波电流,此波形电流当限流熔断器切断正弦波上升的故障电流时产生。

7.2.13 通态电流临界上升率(di/dt)

在下列规定条件下的最大额定值:

- a) 施加电流脉冲前的额定最高等效结温;
- b) 开通前的断态电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压;
- c) 通态电流脉冲的峰值,优先等于额定最大通态可控重复峰值电流(具有规定的波形和脉冲宽度);
- d) 触发条件;
- e) 重复频率;
- f) 吸收电路;
- g) 试验持续时间(宜长于器件的热时间常数,如 30 s)。

7.3 其他额定值(极限值)

A 功率额定值

7.3.1 门极正向峰值功率(P_{FGM})

在规定脉冲宽度和重复率条件下的最大额定值。

B 温度额定值

7.3.2 等效结温(T_j)

最大额定值。

7.3.3 贮存温度(T_{stg})

最小额定值和最大额定值。

7.3.4 具有焊接端子的 GTO 晶闸管允许的最高焊接温度(T_{sd})

对于具有焊接端子的 GTO 晶闸管,应规定最高焊接温度和焊接持续时间。

C 机械额定值

7.3.5 安装力矩(螺栓形器件的)(M)

对于螺栓连接的 GTO 晶闸管,应规定额定最大力矩值和额定最小力矩值。

7.3.6 紧固力(平板形器件的)(F)

对于设计为箝夹安装方式的 GTO 晶闸管(平板形器件),应规定安装表面刚性接触的额定最小紧固力值和额定最大紧固力值。

7.4 电特性

除另有说明外,规定在环境温度或管壳温度 25 °C 的条件下给出。

7.4.1 通态电压(V_T)

在下列规定条件下的最大值:

- 通态电流,优先等于额定最大可控通态重复峰值电流;
- 管壳温度或环境温度,等于额定最高等效结温,如此温度时的值与 25 °C 时的值存在一定关系,则可采用 25 °C 时的值;
- 门极电流值(保持全导通所要求的)。

7.4.2 门槛电压($V_{T(RO)}$)

在额定最高等效结温条件下的最大值。

7.4.3 通态斜率电阻(r_T)

在额定最高等效结温条件下的最大值。

7.4.4 维持电流(I_H)

在规定断态电压(优选 24 V)条件下的最大值。

7.4.5 擎住电流(I_L)

在规定断态电压(优选 24 V)和触发条件(电流波形和脉冲宽度)的条件下的最大值。

7.4.6 断态电压临界上升率(dv/dt)

在下列规定条件下的最大值:

- 额定最高等效结温;
- 断态电压波形(线性的或指数式的);
- 断态峰值电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压;
- 门极电路条件;
- 重复频率。

7.4.7 门极维持电流(I_{FGsus})

最小值。

7.4.8 尾部峰值电流(I_{ZM})

在下列规定条件下的最大值:

- a) 额定最高等效结温；
- b) 关断前的通态电流,等于额定最大可控通态峰值电流；
- c) 断态电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压；
- d) 再加断态电压上升率；
- e) 门极关断驱动电压,优先等于额定最高门极关断电压；
- f) 门极关断电流上升率。

7.4.9 门极触发电流和门极触发电压 (I_{GT}, V_{GT})

在下列规定条件下的最小值：

- a) 断态电压,优先等于 24 V；
- b) 为确保整个阴极面积导通,能提供足够通态电流的电源最大电阻。

7.4.10 门极不触发电流和门极不触发电压 (I_{GD}, V_{GD})

在下列规定条件下的最大值：

- a) 断态电压,优先等于 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压；
- b) 额定最高等效结温；
- c) 门极偏置条件。

7.4.11 门极关断峰值电流 (I_{RQM})

在下列规定条件下,表示门极关断脉冲发生器能提供的最小值与关断晶闸管的通态峰值电流的关系曲线：

- a) 额定最高等效结温；
- b) 再加断态电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍的额定最高断态重复峰值电压；
- c) 再加断态电压上升率；
- d) 门极电路的驱动电压,优先等于额定最高门极关断电压；
- e) 门极关断电流上升率；
- f) 重复频率。

7.4.12 开通损耗能量 (E_{ON})

表示一个通态脉冲电流的最大开通损耗能量(不包括通态损耗能量)与通态电流上升率的关系曲线,以初始断态电压为参变量。

注：对于正弦半波,通态电流上升率值很好地近似表示为式(8)：

$$di/dt = 3I_{TM}/t_p \dots\dots\dots(8)$$

式中：

I_{TM} ——幅值；

t_p ——正弦半波的持续时间。

7.4.13 通态损耗能量 (E_T)

表示稳态的一个通态脉冲电流的最大通态损耗能量(不包括开通和关断的损耗能量)与脉冲持续时间的关系曲线,以允许的最大通态峰值电流为参变量：

- a) 正弦半波电流脉冲的该特性关系曲线；
- b) 矩形波电流脉冲的该特性关系曲线。

7.4.14 关断损耗能量(E_Q)

表示一个通态脉冲电流的最大关断损耗能量与通态峰值电流的关系曲线,以断态电压上升率、关断时的断态峰值电压和关断尖峰电压为参变量。

注:单脉冲的开通损耗能量、通态损耗能量和关断损耗能量分别乘以重复频率,就得到对应的损耗功率。

7.4.15 门极控制开通延迟时间(t_{gd})

在规定门极正向峰值电流条件下的典型值和适用时的最大值。

7.4.16 关断期间各时间间隔

在下列规定条件下的如下时间间隔的最大值:

- a) 被关断的通态峰值电流,优先等于额定最大可控通态重复峰值电流;
- b) 再加断态电压,优先等于 0.5 倍或 2/3 倍额定最高断态重复峰值电压;
- c) 再加断态电压上升率;
- d) 关断尖峰电压;
- e) 门极电路驱动电压,优先等于额定最高门极关断电压;
- f) 门极关断电流上升率;
- g) 额定最高等效结温。

7.4.16.1 (门极控制)关断时间(t_{sq})

最大值。

7.4.16.2 (门极控制)关断延迟时间(t_{dq})

最大值。

7.4.16.3 (门极控制)下降时间(t_{fq})

最大值。

7.4.16.4 尾部时间(t_z)

最大值。

7.5 热特性

7.5.1 结-环境热阻($R_{th(j-a)}$)

仅对环境额定的 GTO 晶闸管,最大值。

7.5.2 结-管壳热阻($R_{th(j-c)}$)

仅对管壳额定的 GTO 晶闸管,最大值。

7.5.3 结-散热器热阻($R_{th(j-h)}$)

仅对散热器额定的 GTO 晶闸管,最大值。

7.5.4 结-环境瞬态热阻抗($Z_{th(j-a)}$)

仅对环境额定的 GTO 晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-a)}$ 与时间的关系曲线。

7.5.5 结-管壳瞬态热阻抗($Z_{th(j-c)}$)

仅对管壳额定的 GTO 晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-c)}$ 与时间的关系曲线。

7.5.6 结-散热器瞬态热阻抗($Z_{th(j-h)}$)

仅对散热器额定的 GTO 晶闸管,紧接损耗功率阶跃变化后, $Z_{th(j-h)}$ 与时间的关系曲线。

7.6 机械特性和其他数据

见 GB/T 17573—1998。

8 型式试验和常规试验的要求,晶闸管的标志

8.1 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 2 列出了反向阻断三极晶闸管应实施的最少型式试验项目。一些型式试验是破坏性的。

表 2 反向阻断三极晶闸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	例行试验
特性测量		
通态电压	×	×
其他静态通态特性	×	
反向断态电流	×	×
断态电压临界上升率	×	
其他静态断态和反向特性	×	
维持电流	×	× ^a
擎住电流	×	× ^a
恢复电荷、反向恢复峰值电流	×	× ^a
门极触发电流和门极触发电压	×	×
门极不触发电流	×	× ^a
电路换向关断时间	×	× ^a
门极控制开通时间	×	× ^a
热阻和瞬态热阻抗	×	
额定值检验		
通态电流临界上升率	×	
通态浪涌电流	×	
管壳不破裂峰值电流	× ^b	
耐久性试验		
高温交流阻断试验	×	
热循环负载试验	×	
^a 仅对规定有最大值或最小值的器件进行常规试验。 ^b 仅对规定有最大值的器件进行型式试验。		

8.2 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2列出了反向阻断三极晶闸管应实施的最少常规试验项目。

8.3 测量和试验方法

第9章给出的测量和试验方法适用。

耐久性试验应适用9.4给出的方法。

8.4 晶闸管的标志

每只晶闸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、阴极端和门极端的标志。

9 测量和试验方法

引言

除在标题中指定的少数几项外,在本章叙述的测试(测量和试验)方法均适用于反向阻断三极晶闸管,而且其中很多方法也适用于其他类型晶闸管。

本部分的电路中所示的电源极性适用于P门极晶闸管,然而,若改变仪表、电源以及阳极和阴极端子的极性,这些电路也能适用于N门极晶闸管。

9.1 电特性的测量方法

9.1.1 一般注意事项

9.1.1.1 直流测量的一般注意事项

对于晶闸管的通态特性测量,直流电源的质量是无关紧要的,只要峰-峰纹波值小于10%即可。

对于反向或断态特性测量,电压源峰-峰纹波值不应超过1%,并应特别注意确保晶闸管的电压额定值不因任何电压瞬变而超过。

9.1.1.2 交流测量的一般注意事项

电源电路中可接入二极管,以保护示波器内的放大器不受无用半周脉冲的影响。

在测量反向小电流时,有必要采取适当的预防措施来避免干扰,如采用屏蔽变压器和适当接地。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。

9.1.1.3 温度条件

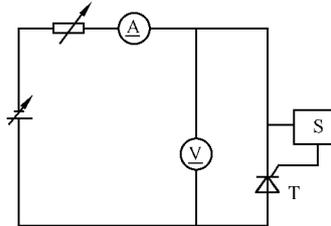
下述电特性的所有测量都应规定温度条件。

应在热平衡达到后进行测量。

9.1.2 通态电压(V_T)

9.1.2.1 直流法

可用图 26 所示的电路测量通态电压。在门极电路阻抗和偏置的规定条件下,晶闸管转入通态后,设定规定的通态电流,测量阳极端和阴极端之间的电压。



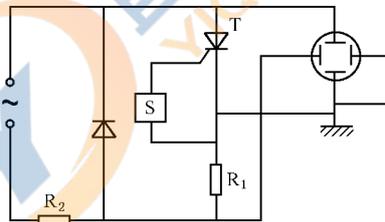
说明:

- T——受试晶闸管;
- S——门极偏置电源。

图 26 通态电压的测试电路(直流法)

9.1.2.2 示波器法

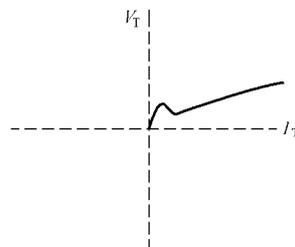
图 27a)表示瞬时通态电压的测试电路,在规定的门极电路阻抗和偏置条件下,电路采用了正弦半波电流源。晶闸管处于通态时,施加通过晶闸管的正向电流,图 27b)为显示于示波器上的电压-电流曲线。



说明:

- T ——受试晶闸管;
- R_2 ——低阻电阻器;
- S ——门极偏置电源。

a) 通态电压的测试电路(示波器法)



b) 通态电压与通态电流的特性曲线

图 27 采用示波器测量瞬时通态电压的测试电路

9.1.2.3 脉冲法

目的：

在规定条件下，用脉冲法测量晶闸管的通态电压。

电路图：

电路如图 28 所示。

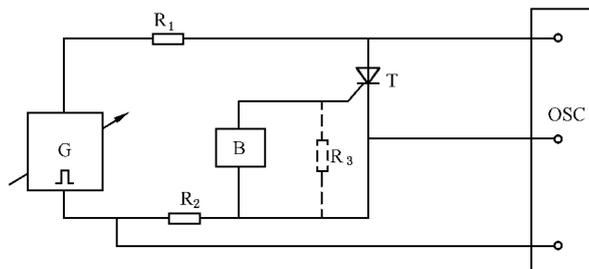


图 28 通态电压的测试电路(脉冲法)

电路说明和要求：

B —— 门极触发电源；

G —— 脉冲发生器；

R_1 —— 保护电阻器；

R_2 —— 校准过的电流测量无感电阻器；

T —— 受试晶闸管；

OSC —— 示波器或峰值读数仪表。

脉冲发生器的脉冲宽度和重复率应使得测量期间所产生的内部发热可以忽略。

脉冲持续时间应使器件完全开通。对于小晶闸管和具有分布门极结构的器件，开通扩展时间是相当短的，上述条件用 $100\ \mu\text{s} \sim 500\ \mu\text{s}$ 的脉冲宽度就可以满足。

具有长开通扩展时间的大功率晶闸管，可能需要 $1\ \text{ms}$ 或更长的脉冲宽度。如上升电流和下降电流的通态特性不同，则应采用下降电流的通态特性（即全导通晶闸管的）。如电流幅值不足够大，晶闸管可能保持在局部开通状态。

可用峰值读数仪表代替示波器，但应能测量晶闸管完全开通时的通态电压。

注意事项：

应注意不要超出受试晶闸管的 di/dt 额定值。

测量程序：

脉冲发生器和门极触发的电压开始设定为零。

设定温度为规定值并调整到必要的偏置条件。

然后提高脉冲发生器电压来设定规定的通态电流，通态电压即在示波器上测得。

规定下列条件的数值：

- 通态峰值电流 I_{TM} ；
- 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r)；
- 门极触发电路偏置条件，需要时接入 R_3 。

9.1.3 反向峰值电流 (I_{RM})

目的：

在规定反向重复峰值电压条件下，测量晶闸管的反向峰值电流。

电路图：

电路如图 29 所示。

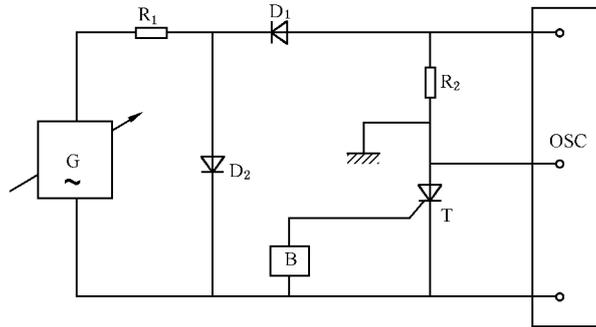


图 29 反向峰值电流的测试电路

电路说明和要求：

B —— 门极电路；

D_1 和 D_2 —— 提供负半周期的二极管，只用于测量晶闸管的反向特性；

G —— 交流电压源；

R_1 —— 保护电阻器；

R_2 —— 校准过的电流测量无感电阻器；

T —— 受试晶闸管；

OSC —— 示波器或峰值读数仪表。

测量程序：

调整交流电压源，在示波器上监视晶闸管两端的反向重复峰值电压，在连接 R_2 两端的示波器上测量通过晶闸管的反向峰值电流。

可用峰值读数仪表代替示波器，但仪表应在反向电压达到峰值时测量反向峰值电流。

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) 门极偏置条件：电源电压和电源电阻或门极-阴极电阻器；
- d) 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r)。

9.1.4 擎住电流 (I_T)

目的：

在规定条件下测量晶闸管的擎住电流。

电路图：

电路如图 30 所示。

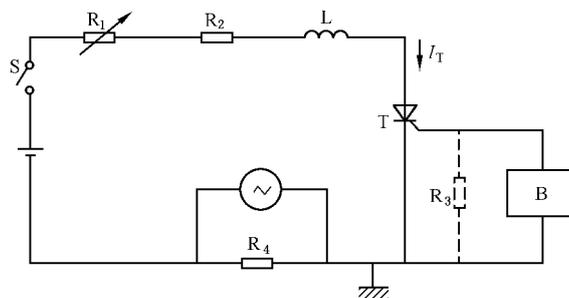


图 30 擎住电流的测试电路

电路说明和要求：

B —— 触发和门极偏置电源；

R_2 —— 保护电阻器；

R_4 —— 校准过的电流测量无感电阻器。

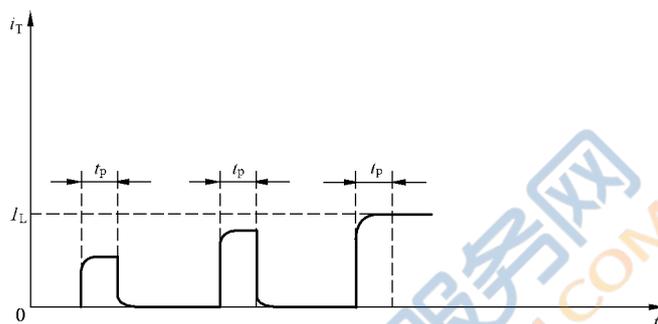
包括直流电压源的电路残余电感 L 应尽可能小。

测量程序：

电阻 R_1 在最大值时，闭合开关 S，晶闸管不应连续导通。

然后逐渐减小 R_1 值，并使主电流上升，直至每个触发脉冲结束时不下降。在此点的主电流值对应于擎住电流值(见图 31)。

操作开关 S 和调整 R_1 值，进行重复测量，直至获得准确测定擎住电流的临界点值。



说明：

I_L —— 擎住电流；

t_p —— 触发脉冲持续时间。

图 31 擎住电流的波形

规定下列条件的数值：

- 断态电压 V_D ；
- 门极偏置条件：门极偏置电源的电压、极性和电阻，需要时接入 R_3 ；
- 触发脉冲：上升时间、下降时间、脉冲宽度、重复率、电压幅值和触发脉冲发生器的电阻；
- 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a 、 T_c 或 T_r)。

9.1.5 维持电流 (I_H)**目的：**

在规定条件下测量晶闸管的维持电流。

电路图：

电路如图 32 所示。

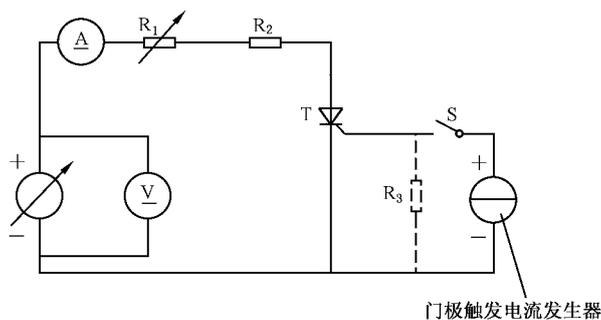


图 32 维持电流的测试电路

电路说明和要求：

电阻器 R_2 是保护电阻器。

电阻器 R_3 应仅当规定时才采用。

测量程序：

设定温度为规定值。

增加电压发生器输出至获得断态电压 V_D 的规定值。

闭合开关 S, 并增加门极电流使晶闸管触发。

调整 R_1 使通态电流足够大, 以保证晶闸管完全开通。

断开开关 S, 增大 R_1 逐渐减小通态电流至晶闸管被关断。

紧接关断点前、在电流表 A 上测得的通态电流值即为维持电流。

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) 保证晶闸管完全开通的最小通态电流 I_{Tmin} (适用时)；
- c) 门极电路的电阻器 R_3 , 要求时；
- d) 断态电压 V_D 。

9.1.6 断态电流 (I_D)

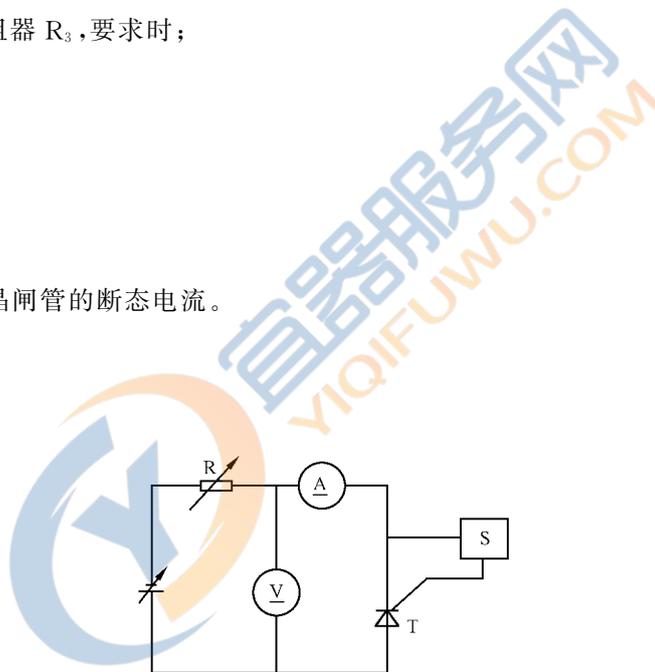
9.1.6.1 直流法

目的：

用直流电流源测量晶闸管的断态电流。

电路图：

电路如图 33 所示。



说明：

T——受试晶闸管；

S——门极偏置电源。

图 33 断态电流的测试电路(直流法)

测量程序：

在规定的门极电路阻抗和偏置的条件下, 通过保护电阻器 R 施加规定的正向电压来测量断态电流。

保护电阻器 R 的值应足够大, 以使器件转入导通态时能保护电流表和受试器件。

9.1.6.2 示波器法

目的：

在断态重复峰值电压规定条件下, 测量晶闸管的断态峰值电流。

电路图：

电路如图 34 所示。

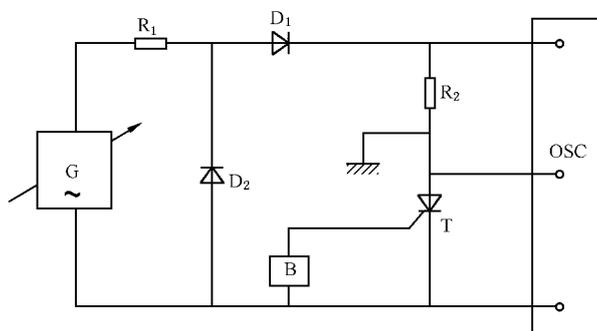


图 34 断态峰值电流的测试电路(示波器法)

电路说明和要求：

B —— 门极电路；

D₁ 和 D₂ —— 提供正半周期的二极管, 仅用于测量晶闸管的断态特性；

G —— 交流电压源；

R₁ —— 保护电阻器；

R₂ —— 校准过的电流测量无感电阻器；

T —— 受试晶闸管；

OSC —— 示波器或峰值读数仪表。

测量程序：

调整交流电压源, 在示波器上监测晶闸管两端的断态重复峰值电压, 在连接 R₂ 两端的示波器上测量通过晶闸管的断态峰值电流。

可用峰值读数仪表代替示波器, 但应是断态重复电压达到其峰值时测量断态峰值电流的仪表。

规定下列条件的数值：

- 断态重复峰值电压 V_{DRM} ；
- 交流电压源频率 f ；
- 门极偏置条件: 电源电压和电源电阻或门极-阴极电阻器；
- 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r)。

9.1.7 门极触发电流和(或)门极触发电压 (I_{GT} , V_{GT})

目的：

在规定条件下测量晶闸管的门极触发电流和(或)门极触发电压。

电路图：

电路如图 35 所示。

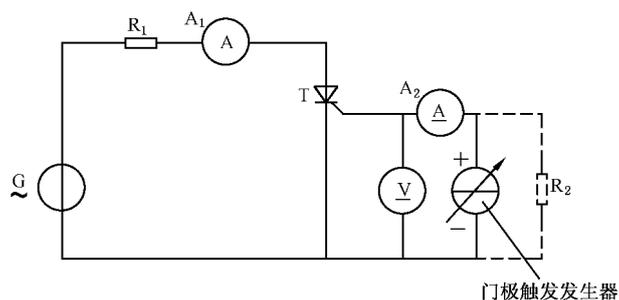


图 35 门极触发电流和(或)门极触发电压的测试电路

电路说明和要求：

电阻器 R_1 的值决定通态电流，此电流应足够大，以保证晶闸管完全开通。

电压发生器 G 提供低电压，并优先 12 V 或更低。

注 1：交流电压发生器可以用直流电压发生器代替。

注 2：当测量很小的触发电流时，应考虑电压表的阻抗。

测量程序：

设定温度为规定值。

逐渐增大门极电流至晶闸管刚好开通，电流表 A_1 显示通态电流。

门极触发电流是电流表 A_2 上记录的最大值，门极触发电压是对应在电压表 V 上测量的电压值。

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) 断态电压 V_D (如不是 12 V 交流峰值时规定)；
- c) 交流发生器的频率 (当高于 65 Hz 时规定)；
- d) 门极电路的电阻器 R_2 (要求时)。

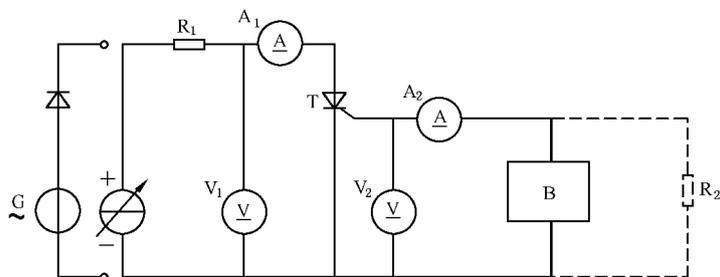
9.1.8 门极不触发电压和(或)门极不触发电流 (V_{GD} , I_{GD})

目的：

在规定条件下，验证或测量晶闸管的门极不触发电压和(或)门极不触发电流。

电路图：

电路如图 36 所示。



说明：

T —— 受试晶闸管；

B —— 直流门极触发电源。

图 36 门极不触发电压和(或)门极不触发电流的测试电路

电路说明和要求：

电阻器 R_1 是保护电阻器，其值应足够小。电阻器 R_2 仅当规定时才采用。

直流发生器可用带有串联二极管的交流发生器代替，在这种情况下电压表 V_1 和电流表 A_1 应是峰值读数仪表。

验证方法：

设定温度为规定值。

电压表 V_1 上显示的晶闸管两端的断态电压设定到规定值。

电压表 V_2 上显示的规定的门极不触发电压施加到晶闸管的门极上。如晶闸管不被触发，则门极不触发电压 (V_{GD}) 得到验证。

测量方法：

设定温度为规定值。

电压表 V_1 上显示的晶闸管两端的断态电压设定到规定值。

逐渐增加门极电压至晶闸管开通，通态电流流过电流表 A_1 。

紧接晶闸管开通前，在电压表 V_2 上测得的门极电压值，即为门极不触发电压。

紧接晶闸管开通前，在电压表 A_2 上测得的门极电流值，即为门极不触发电流。

规定下列条件的数值：

- 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r)；
- 断态电压 V_D (或 V_{DM})；
- 门极电路的电阻器 R_2 (要求时)；
- 门极不触发电压 V_{GD} (仅对验证方法)；
- 门极不触发电流 I_{GD} 。

9.1.9 门极控制延迟时间和开通时间 (t_d 、 t_{gt})**目的：**

在规定条件下，测量晶闸管的门极控制延迟时间和开通时间 (延迟时间 + 上升时间)。

电路图：

电路如图 37 所示。

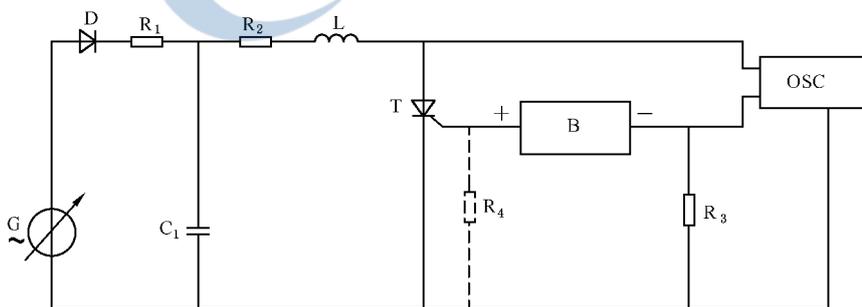


图 37 门极控制延迟时间和开通时间的测试电路

电路说明和要求：

T —— 受试晶闸管；

B —— 门极触发源；

OSC —— 双线示波器。

为得到受试晶闸管 T 要求的通态电流上升率, R_2 、 C_1 和 L_1 的值与试验电压 V_D 、电流幅值 I_{TM} 和时间 t_1 的近似关系以式(9)~式(12)给出:

$$C_1 = 5.6 \times \frac{I_{TM} \times t_1}{V_D} \dots\dots\dots(9)$$

$$L = 1.7 \times \frac{V_D \times t_1}{I_{TM}} \dots\dots\dots(10)$$

$$R_2 = 0.55 \times \frac{V_D}{I_{TM}} \dots\dots\dots(11)$$

$$di/dt = 0.5 \times \frac{I_{TM}}{t_1} \dots\dots\dots(12)$$

式中:

t_1 ——如图 38 所示通态电流上升到 $0.5I_{TM}$ 的时间。

R_1 是电容器 C_1 充电时, 保护二极管 D 的电阻器。

电阻器 R_1 仅当规定时才使用。

电容器 C_1 通过 D 和 R_1 在电源电压的半周期内充电。在下一个半周, 应使门极触发脉冲发生器同步, 以使在充电电源为负时施加门极触发脉冲。

示波器的一个输入是晶闸管两端的电压, 另一个输入是校准过的无感电阻器 R_3 两端的电压。

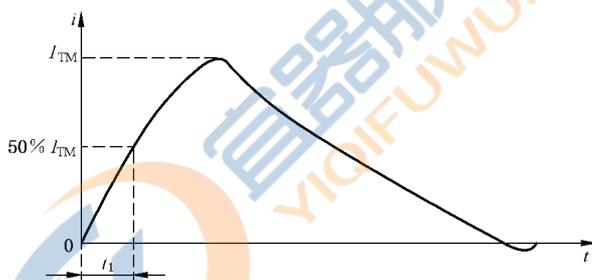


图 38 测试 t_{gt} 的晶闸管通态电流波形

注意事项:

半幅脉冲宽度应足够长, 以致不影响测量结果(优先大于或等于 $10 \mu s$)。

测量程序:

设定温度为规定值。

接通门极触发电源。

在示波器上显示的断态电压升高到规定值。

用双线示波器即可观测延迟时间和上升时间(见图 39)。

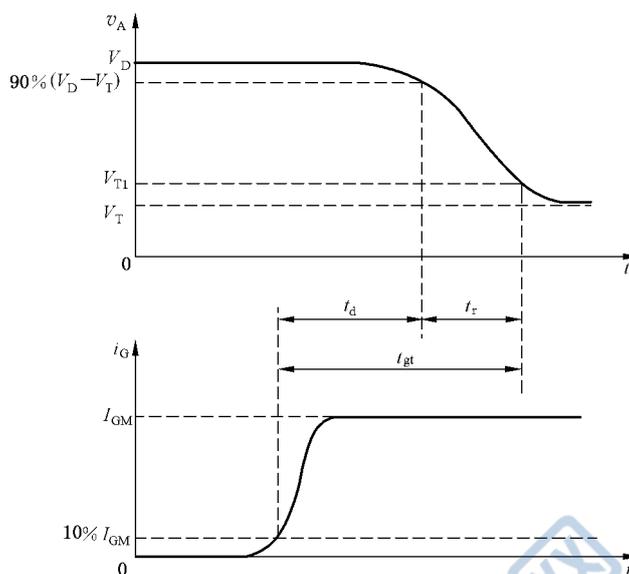


图 39 晶闸管开通时的断态电压和电流的波形

规定下列条件的数值：

- 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r)；
- 门极电流 I_{GM} ；
- 门极脉冲的上升时间、持续时间和重复率；
- 紧接施加门极电流前的断态电压；
- 阳极峰值电流 I_{TM} ；
- 门极电路的电阻器 R_i (要求时)；
- di/dt ；
- 开通电压 V_{T1} 。

9.1.10 电路换向关断时间 (t_q)

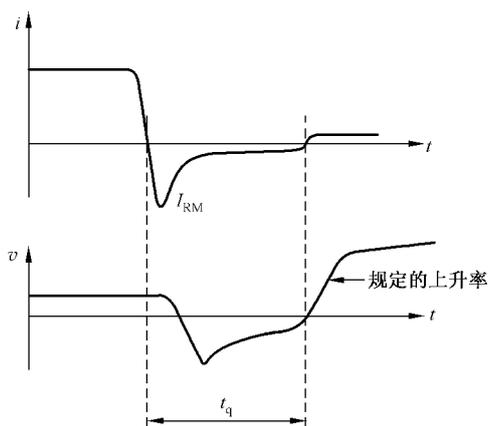
目的：

在规定条件下，测量晶闸管的电路换向关断时间。

注：从主电流降至零瞬间起，到晶闸管恰好能阻断断态电压而不转换至通态的瞬间止，测定为电路换向关断时间。

工作原理：

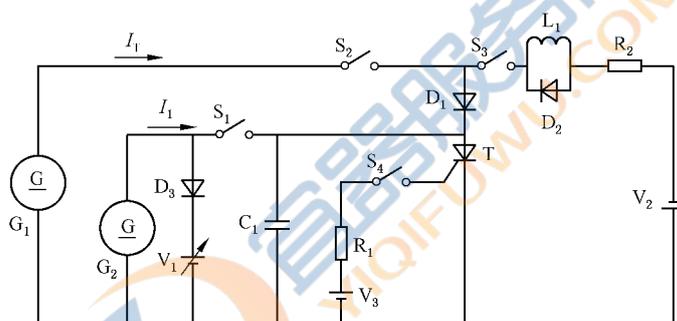
图 41 基本电路说明产生图 40 波形所采用的电路工作原理，为简便，电路采用电流发生器和理想开关。



说明：

- i —— 晶闸管阳极电流；
- v —— 晶闸管阳极电压；
- I_{RM} —— 反向峰值电流。

图 40 晶闸管关断时的电流和电压的波形



说明：

- G_1 —— (通态) 恒定电流发生器；
- G_2 —— (可变上升率) 恒定电流发生器；
- T —— 受试晶闸管；
- V_2 —— 反向电压源。

图 41 测试 t_q 的基本电路

电路工作如下：

- a) 同时闭合开关 S_2 和 S_4 , 使晶闸管转换至通态并导通规定电流 I_T 。然后断开开关 S_4 , 切断晶闸管的触发电路, 以不影响通态电流；
- b) 在规定的导通时间后闭合开关 S_3 , 在晶闸管两端施加规定幅值的反向电压, 使反向电流以规定的变化率流过晶闸管；
- c) 闭合开关 S_1 , 在晶闸管两端施加具有规定幅值和变化率的阻断电压, 以确定晶闸管是否能阻断断态电压而不转换至通态。连续用较短的时间间隔重复开关程序 (S_3 到 S_1), 直到时间间隔恰好足够长以允许在不转折的情况下施加断态电压。

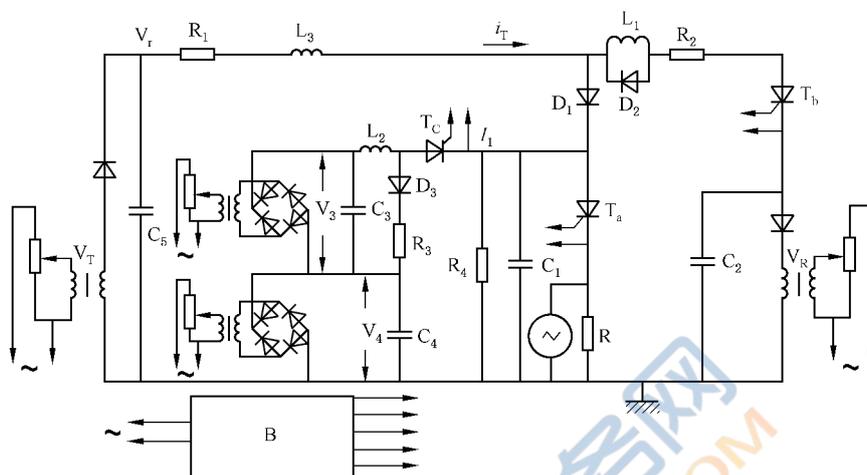
在电路中二极管 D_1 的反向恢复时间应长于晶闸管的反向恢复时间, 以使反向电压在其全部时间内都出现在晶闸管两端。二极管 D_2 用于防止晶闸管开始恢复其反向阻断能力时的换向电压瞬变。

二极管 D_3 与电压源 V_1 连接, 以限制阻断电压。电感器 L_1 和电阻器 R_2 用于决定从通态转换期间的电流变化率。电流 I_1 完成二极管 D_1 的反向恢复, 然后以等于 I_1/C_1 的速率线性地对电容器 C_1 充电, 在转换周期结束时产生所需的阻断电压上升率。

9.1.10.1 第一种方法

电路图：

通常在工业用电源频率的重复工作电路上进行测试,以便示波器能连续显示。图 42 是表示这种电路的一个示例。



说明：

- B —— 门极门触发电路；
 T_a —— 受试晶闸管；
 V_T —— 通态电流源；
 V_r —— 可变上升率电源；
 V_R —— 反向电压源。

图 42 测试 t_q 的实用电路

电路说明和要求：

通态电流 I_T 用可调半波整流电源对电容器 C_5 充电得到。时间常数 $R_1 C_5$ 应足够大,以使规定的通态电流在整个规定的导通期间基本上恒定。 L_3 限制通态电流上升率。

用于产生阻断电压的图 42 中电路与图 41 中所示的基本电路不同。当晶闸管 T_c 触发时,二极管 D_3 反向偏置(由于电容器 C_4 的电压),使通过电感器 L_2 的电流流经 T_c 并以线性速率对电容器 C_1 充电。 L_2 的电感应足够大,以使恒定电流维持至电容器 C_1 充电到电压等于电压 V_3 和 V_4 之和。

这时,二极管 D_3 开始导通,并对受试晶闸管施加箝位断态电压。在下一个转换周期之前的导通期间,电阻器 R_4 用于电容器 C_1 放电。电阻器 R_3 用于控制通过 L_2 和 D_3 的恒定电流值。

此外,下列考虑也适用：

- 时间常数 $R_1 C_5$ 应足够大,以使在导通期间基本上维持恒定电流。试验电流大于 100 A 时,合理地设计集总恒定传输线并降低重复率,即可获得更加实用的导通电流源。
- 晶闸管 T_b 在 C_2 和 C_5 充电达到平衡后才关断。这导致 R_1 和 R_2 产生大量损耗功率。可采用增加由紧接晶闸管 T_c 触发来关断晶闸管 T_b 的辅助电路,或采用降低脉冲重复率来大大减少这种损耗。
- 电阻器 R_4 为电容器 C_1 提供放电支路, R_4 引起的电流应小于晶闸管 T_c 的维持电流,以使 C_1 充电后可关断 T_c 。
- 由于 L_2 中的分布电容、二极管 D_1 和 D_3 的反向恢复以及布线电感的影响,可引起再加正向电压波形产生不需要的振荡。可采用包括使用合适阻尼电阻(图 42 不包括)的良好设计经验,把这种影响减至最小。

e) 应采用良好的设计经验,以避免超过所选择元器件的额定值。

测量程序:

门极触发发生器与电源频率同步,并在电容器 C_5 和 C_2 充电之后的半周期提供触发脉冲。顺序操作图 41 的 S_4 、 S_3 和 S_1 开关,对受试晶闸管 T_a 、 T_b 和 T_c 施加触发脉冲。

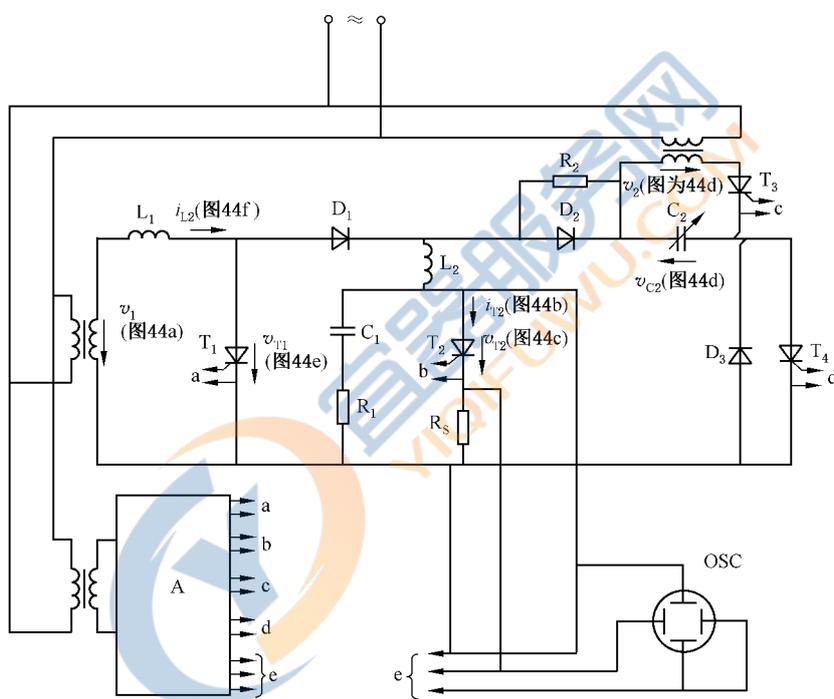
由触发晶闸管 T_b 的门极脉冲结束导通周期,晶闸管 T_b 触发后,使电容器 C_2 的反向电压通过电阻器 R_2 、电感器 L_1 和二极管 D_1 施加到受试晶闸管两端。 R_2 、 L_1 和 D_1 的作用和要求按基本电路的说明。

由触发晶闸管 T_c 的门极脉冲结束关断时间间隔。

9.1.10.2 另一种方法

电路图:

图 43 给出测量电路换向关断时间的另一种方法,特别适用于大电流器件。图 44a~44f 给出测试电路的电压和电流波形。



说明:

- A ——控制单元;
- T_2 ——受试晶闸管;
- OSC——双线示波器;
- v_1 ——正向电压;
- v_2 ——反向电压。

图 43 电路换向关断时间的测试电路(另一种方法)

电路说明和要求:

图 43 电路工作如下:

在电压 v_1 的负半周期期间,由辅助电压 v_2 的正半周通过在时间 t_5 (见图 44) 用控制单元开通的晶闸管 T_3 ,使电容器 C_2 充电至接近 v_2 的峰值。测试过程开始前, C_2 应完全充电,晶闸管 T_3 应完全切断。

当受试晶闸管 T_2 在时间 t_1 由控制单元开通时(见图 44a~44f),即紧接电源电压 v_1 达到峰值(控制角 φ 在 $100^\circ \sim 110^\circ$ 之间)之后,测试过程开始。通过受试晶闸管的电流 i_{T2} 随着由电感器 L_1 和 L_2 决定的起始斜率的增大而增加(见图 44b)。这种电流流经的电路由变压器、 L_1 、 D_1 、 L_2 、 T_2 所组成,并返回到该

变压器。电流 i_{T2} 在时间 t_2 (可用控制单元调整) 达到受试晶闸管的规定值 I_T , 同时用控制单元开通晶闸管 T_4 。这样, 电容器 C_2 便通过由晶闸管 T_4 、测量电阻器 R_S 、受试晶闸管 T_2 、电感器 L_2 及二极管 D_2 所组成的电路放电, 直到在时间 t_3 (见图 44b) 受试晶闸管 T_2 被关断。 i_{T2} 的下降率主要由 L_2 的值决定。此时, 电容器 C_2 的剩余电压对受试晶闸管起着反向电压的作用。然而, 由于空穴贮存效应, T_2 两端的电压瞬间高于电容器 C_2 两端的电压, 所产生的电压瞬变幅值被并联在受试晶闸管 T_2 的串联电容器 C_1 和电阻器 R_1 限制。

电容器 C_2 在时间 t_3 后, 通过由晶闸管 T_4 、电压源 V_1 、电感器 L_1 及二极管 D_1 和 D_2 组成的电路以相反极性充电。电容器 C_2 两端电压几乎直线上升(因而受试晶闸管两端电压也如此), 这主要由于贮存于电感器 L_1 的磁能量所致(见图 44c 和 44d)。如受试晶闸管 T_2 两端的电压达到规定的阻断电压(比如断态重复峰值电压的 $2/3$), 则晶闸管 T_1 在时间 t_4 开通。

这就要求合适地设计控制单元。流经电感器 L_1 (直到也流经电容器 C_2 瞬间为止) 的电流由晶闸管 T_1 接收, 结束 C_2 的充电(见图 44d 和 44e)。电容器 C_2 的电压通过并联的电阻器 R_2 、二极管 D_2 和二极管 D_3 , 作为受试晶闸管 T_2 两端近乎恒定的阻断电压, 直到充电晶闸管 T_3 在 t_5 (见图 44d) 时由控制单元再次开通。然后电容器 C_2 在相反方向, 由电压源 V_2 对下一个测量周期充电。

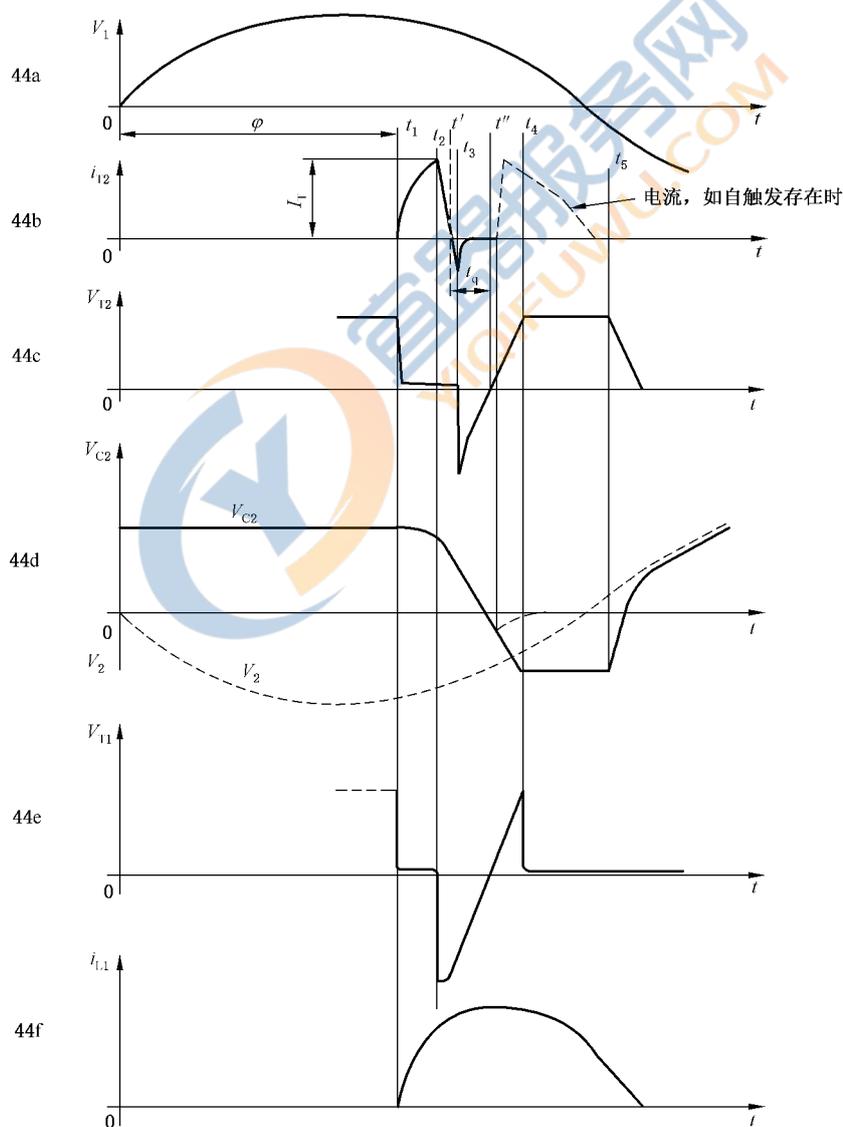


图 44 另一种方法测试 t_q 的电压和电流波形

如受试晶闸管不能承受施加的阻断电压而开通,电容器 C_2 通过由限流电阻器 R_2 、受试晶闸管 T_2 和二极管 D_3 组成的电路放电。电阻器 R_2 和二极管 D_2 并联,是为了避免电容器 C_2 充电电路产生不允许的阻尼。

注: 只要用标准试验方法确定其适当的相关因数,则可采用指数试验波形。

应注意,电感器 L_2 贮存的能量和电容器 C_1 贮存电荷在受试晶闸管关断时,由于电荷耗散的增加,都可能引起关断时间的增长。

元器件要求:

电感器 L_1 和 L_2 以及电容器 C_2 由式(13)~式(15)确定:

$$C_2 \approx \frac{I_T \times t_q}{V_2} \dots\dots\dots (13)$$

$$L_1 > \frac{V_2 \times t_q}{0.05 \times I_T} \dots\dots\dots (14)$$

$$L_2 = \frac{V_2 \times \Delta t_f}{I_T} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

t_q ——受试晶闸管的关断时间;

I_T ——施加断态电压前,通过受试晶闸管的规定电流(见图 44b);

V_2 ——规定的反向峰值电压;

Δt_f —— $t_3 - t_2$,规定的通态电流下降时间(见图 44b)。

在确定电路元件时,应考虑与晶闸管 T_1 、 T_4 以及二极管 D_1 、 D_2 和 D_3 均应具有至少等于受试晶闸管额定值的电流额定值和电压额定值。

测量程序:

测量电路换向关断时间采用如下方法:

减少 C_2 的电容值来提高电压 v_{T2} 的上升率和缩短时间间隔($t'' - t'$),直到受试晶闸管开通。然后电路换向关断时间在示波器上按不出现开通的最小时间差确定,此时间差即电流 i_{T2} 过零瞬间到电压 v_{T2} 过零瞬间之时间(两瞬间分别为 t' 和 t'' ,见图 44b 和 44c)。

用单线示波器只测量电压 v_{T2} 连续两次过零瞬间的时间差($t'' - t_3$),也可近似得出电路换向关断时间。 v_{T2} 第一次过零瞬间与 i_{T2} 过零瞬间的时间差($t_3 - t'$)既可用计算来确定,也可用测量的平均值来确定。电路换向关断时间为这两个时间差之和。

9.1.10.3 规定条件(对两种方法)

应规定下列条件的数值

- a) 通态电流的下降率和幅值($-di/dt$ 、 I_{TM});
- b) 关断间隔期间所施加的反向电压幅值 V_{RM} ;
- c) 再加断态电压的上升率和幅值;
- d) 门极偏置条件;
- e) 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a 、 T_c 或 T_r)。

9.1.11 断态电压临界上升率(dv/dt)

目的:

检验晶闸管在规定的断态电压最小上升率时能否保持断态。

电路图:

电路如图 45 所示。

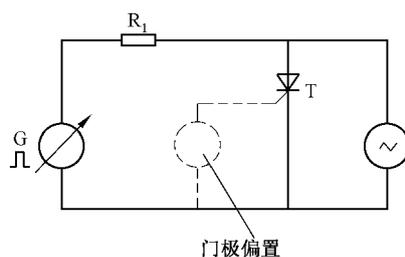


图 45 断态电压临界上升率的测试电路

电路说明和要求：

应规定如下两种方法之一。

9.1.11.1 方法 1(线性上升率)

脉冲发生器提供如图 46 所示的具有规定幅值和可调电压线性上升率的线性波形。连接 $10\%V_{DM}$ 点和 $90\%V_{DM}$ 点的直线的斜率应规定为断态电压临界上升率。

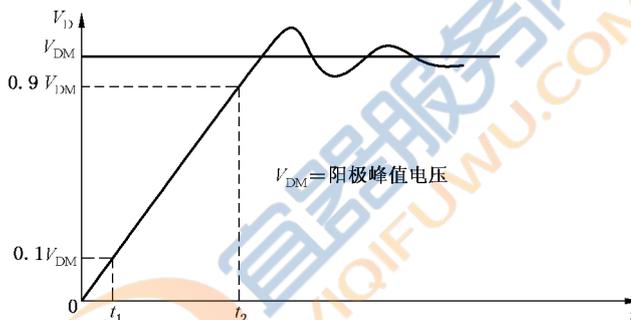


图 46 电压线性上升的波形

应满足下列条件：

- $10\%V_{DM}$ 和 $90\%V_{DM}$ 间的瞬时阳极电压偏离 $10\%V_{DM}$ 和 $90\%V_{DM}$ 两点连接直线应不大于 $10\%V_{DM}$ ；
- $10\%V_{DM}$ 和 $90\%V_{DM}$ 间的瞬时阳极电压斜率偏离 $10\%V_{DM}$ 和 $90\%V_{DM}$ 两点连线斜率应不大于 $\pm 100\%$ ；
- $5\%V_{DM}$ 和 $10\%V_{DM}$ 两点连线的斜率应不小于 $10\%V_{DM}$ 和 $90\%V_{DM}$ 两点连线斜率的 75% ；
- 阳极电压超调峰值应不超过 $10\%V_{DM}$ ，另有规定除外。

如脉冲宽度至少是 5 倍总脉冲上升时间，并且任何阳极-阴极电容在各脉冲之间已放电，则测量可重复进行。

电阻器 R_1 是保护电阻器。

门极偏置电路仅当规定时才采用。

9.1.11.2 方法 2(指数上升率)

脉冲发生器提供如图 47 所示具有规定幅值和可调指数电压上升率的指数波形。

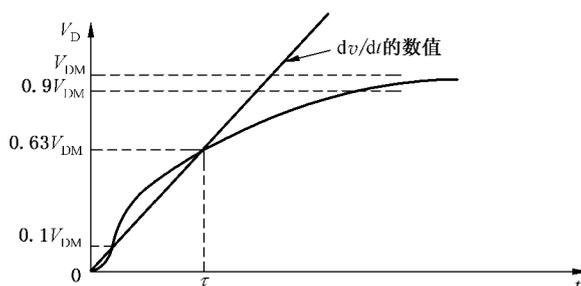


图 47 电压指数上升的波形

通过实际曲线的 $0.1V_{DM}$ 和 $0.63V_{DM}$ 两点的理论指数曲线有一个时间常数 τ , 可用式(16)表示如下:

$$\tau = \frac{0.63V_{DM}}{dv/dt} \dots\dots\dots (16)$$

在 $0.1V_{DM}$ 和 $0.9V_{DM}$ 之间, 电压偏离理论指数曲线应不大于 $5\%V_{DM}$ 。

如脉冲宽度至少是 10 倍时间常数 τ , 并且任何阳极-阴极电容在各脉冲之间已放电, 则试验可以重复的进行。

电阻器 R_1 是保护电阻器。

门极偏置电路仅当规定时才采用。

测量程序(对两种方法):

设定温度为规定值。

由脉冲发生器增大电压的幅值至规定值, 在示波器上显示。

由脉冲发生器调整电压上升率至规定值, 在示波器上显示。

在示波器上检验晶闸管两端的电压波形。

如晶闸管能保持断态, 则验证试验通过。

规定下列条件的数值(对两种方法):

- a) 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r);
- b) 电压临界上升率 dv/dt (说明是线性法或指数法);
- c) 断态峰值电压 V_{DM} ;
- d) 门极偏置电路(要求时)。

9.1.12 换向电压临界上升率 dv/dt (c)

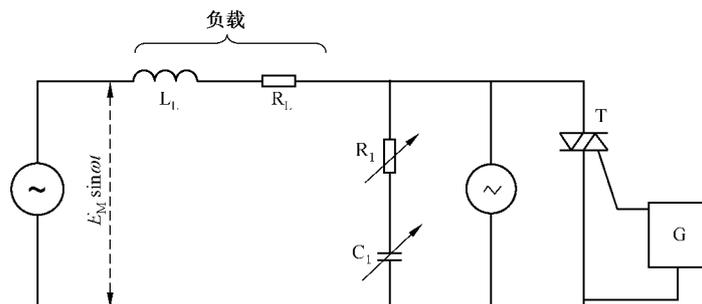
9.1.12.1 第一种方法: 适用于小电流双向三极晶闸管

目的:

检验双向三极晶闸管在不失控时所能承受的换向电压上升率, 这适用于双向晶闸管施加电压的两个极性。

电路图:

电路如图 48 所示。



说明：

T——受试双向三极晶闸管；

G——门极触发电源。

图 48 换向电压临界上升率的测试电路(小电流双向三极晶闸管的)

电路说明和要求：

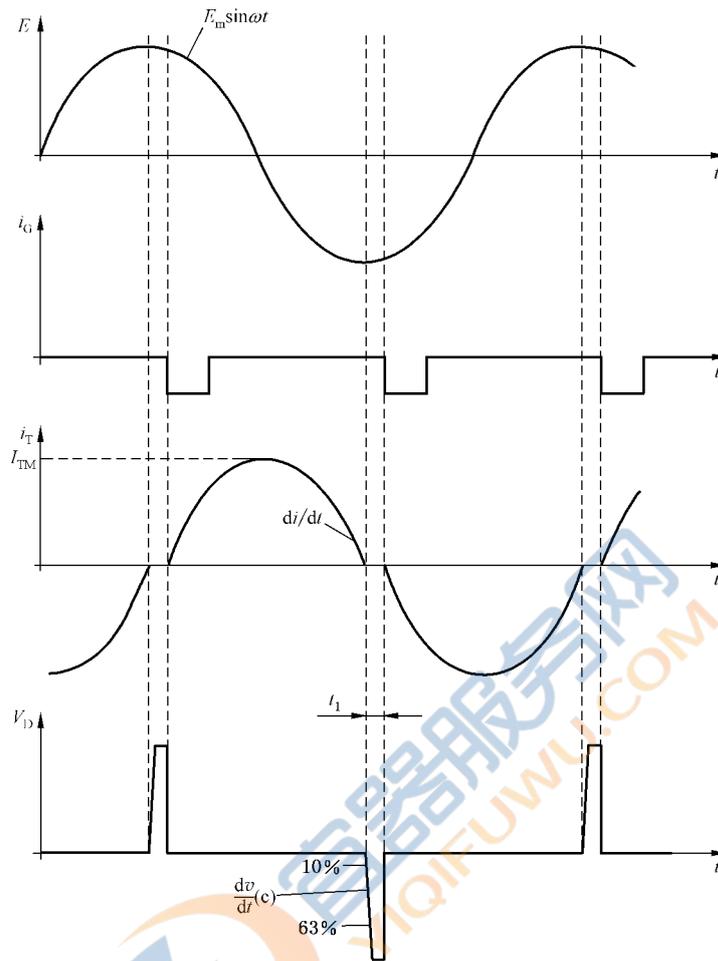
测试电路的电源是 50 Hz 或 60 Hz 的单相正弦波电源。整个测试电路的 X/R 之比应大于或等于 10, 以使电源电压和电流相位差基本上是 90° 。

测量程序：

施加的换向电压(受试器件的断态电压)上升率基本上是指数式的并由调整 R_1 和 C_1 而变化。用与受试器件两端并联的示波器检验该电压波形, 以确保器件不因过高的 dv/dt 而触发。

指数电压波形的 dv/dt 值, 定义为在测试电压波形上 10% 与 63% 两点连线的斜率。由于确定零电压出现的时间困难, 故用 10% 电压点代替零点。电压的超调值应限制在规定的测试电压峰值的 10% 以内。

电流和电压的波形如图 49 所示。



说明:

t_1 ——断态电压持续时间。

图 49 测试 $dv/dt(c)$ 的电流和电压的波形

如电流 i_T 过零后, v_D 上升到 V_{DM} , 并在规定的断态电压持续时间(t_1)内不朝零方向降低, 则受试器件测试通过。

在本测试方法中, 电流反向速率(di/dt)受电路限制, 因此, 对具有很快转换能力的双向晶闸管, 甚至当去掉 R_1 和 C_1 时, 在换向期间仍可以维持断态。在这种情况下, 施加电压波形的 dv/dt 由双向晶闸管的电容和其他电路元件、特别是电感器的分布电容所决定。

规定下列条件的数值:

这些条件适用于试验电压和电流的每一半周:

- a) 单相正弦交流电源频率(50 Hz 或 60 Hz);
- b) 通态峰值电流($I_{TM} \approx E_M/Z_L$);
- c) 通态电流持续时间(推荐半周的 90%);
- d) 通态电流反向速率(di/dt)(50% I_{TM} 和 0% I_{TM} 两点连线的斜率; $di/dt \approx 2\pi f \times I_{TM}$);
- e) 断态峰值电压($V_{DM} \approx E_M$);
- f) 断态电压持续时间(推荐最小 200 μs);
- g) 门极偏置条件(在电流脉冲之间): 门极电源电压、门极电源电阻或门极偏置电阻;
- h) 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a 、 T_c 或 T_r)。

9.1.12.2 第二种方法:适用于具有快或慢通态电流下降率的大电流双向三极晶闸管

目的:

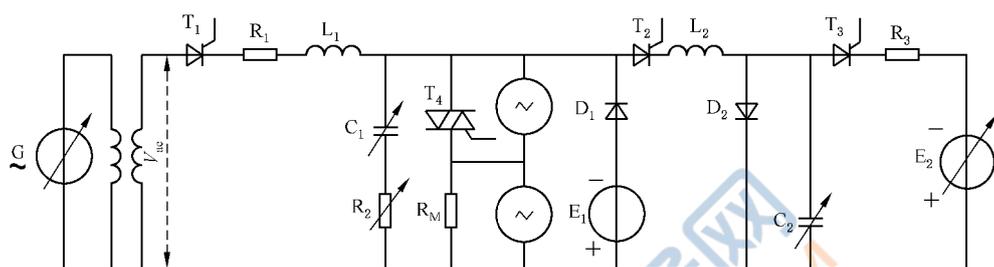
在快、慢通态电流下降率的条件下,测量大电流双向三极晶闸管大范围值的换向电压临界上升率。

注 1: 大电流双向晶闸管可定义为额定电流大于等于 50 A(方均根值)。

电路图和波形:

电路和波形如图 50 和图 51 所示。

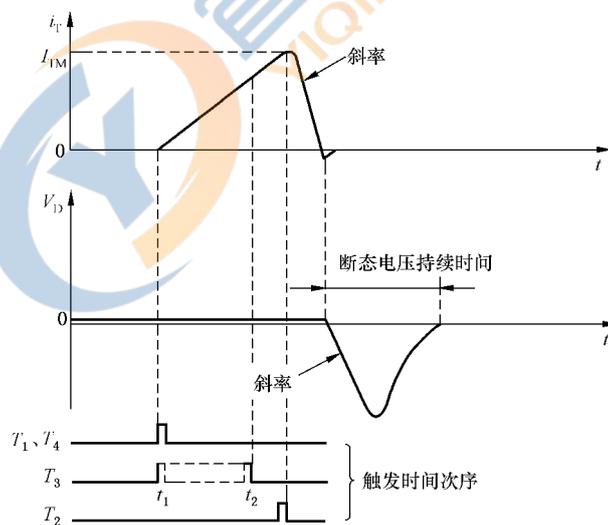
注 2: 可采用其他的通态电流源,如提供 V_{ac} 的变压器可用由电源充电的电容器代替。



说明:

T_4 ——受试双向三极晶闸管。

图 50 换向电压临界上升率的测试电路(大电流双向三极晶闸管的)



a) 具有高 di/dt 的波形

图 51 具有高、低 di/dt 的波形

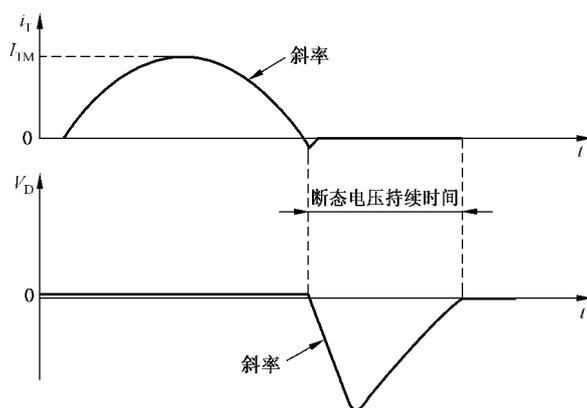
b) 具有低 di/dt 的波形

图 51 (续)

注 3: $t_1 \sim t_2$ 是 T_3 可触发的时间间隔。在通态电流停止流过 T_2 前, T_3 不可触发, 但应足够早地触发, 以使 C_2 充分地再充电, T_2 再次触发前, 停止流过 T_3 的充电电流。

电路说明和要求:

通态电流 I_T 由交流电源 V_{ac} , 经过晶闸管 T_1 、电阻器 R_1 和电感器 L_1 提供给受试双向三极晶闸管 T_4 。

按不超过 di/dt 极限值选择电感器 L_1 。

在触发晶闸管 T_4 的同时触发 T_1 。

由于晶闸管 T_3 的触发, 电容器 C_2 两端产生的电压提供断态电压 V_D , 并在晶闸管 T_2 触发时, 通过电感器 L_2 施加到双向三极晶闸管 T_4 上。

通态电流用示波器在 R_M 两端测量并由调整 V_{ac} 而设定该电流。如在通态正弦半波期间触发 T_2 [图 51a)], 则 di/dt 和断态电压持续时间取决于 L_2 和 C_2 的值, dv/dt 取决于 C_1 、 R_2 和 E_2 的值。如在通态正弦半波终止时 [图 51b)] 触发 T_2 , 则 di/dt 取决于 V_{ac} 和半波持续时间。

当规定线性换向电压上升率时, 要求的线性规范参照 9.1.11.1 的方法 1。在这种情况下, 电源 E_1 将断态电压 V_D 箝位。

当规定指数换向电压上升率时, 允许的波形参照 9.1.11.2 的方法 2。在这种情况下, E_1 和 D_1 应省去, 且 V_D 值由设定 E_2 获得。

注意事项:

务必注意, 确保测量不受散热器等对地的杂散电容的影响。

重复频率应足够低, 以防止受试双向三极晶闸管的结温明显上升。

断态电压和通态电流的持续时间应足够长, 以使两倍其持续时间也不致引起受试双向三极晶闸管换向电压临界上升率的任何变化。

应采取预防措施, 如增加与电感器 L_2 串联的电阻, 以保证受试双向三极晶闸管在不能承受施加的 dv/dt 和电容器 C_2 通过受试双向三极晶闸管放电时, 也不致损坏。

测量程序:

双向晶闸管在接入电路之前, 所有的电源设定为零, C_1 设定为最大值。

温度设定为规定值。

门极偏置设定为规定值。

通态电流通过调整 V_{ac} 设定到规定值 [其波形见图 51a) 和 51b) 的示例]。

断态峰值电压设定为规定值:

a) 对指数式电压上升率,利用 E_2 ;

b) 对线性电压上升率,由 E_1 箝位,并将 E_2 值设定到足够高,以实现所要求的线性度。

对高 di/dt ($\geq 50 \text{ A}/\mu\text{s}$),在 T_1 的正弦半波通态期间触发 T_2 [见图 51a)]; di/dt 用 L_2 设定到规定值。

对低 di/dt ,在通过 T_1 的通态正弦半波终点瞬间触发 T_2 , T_2 开始流过通态电流 [见图 51b)]。

双向三极晶闸管两端的电压波形在示波器上观察 [见图 51a) 和图 51b) 的示例], 调整 C_1 提高换向电压上升率,至双向三极晶闸管仍能承受而不转折到通态的断态电压时的最高上升率,就是换向电压临界上升率。

使双向三极晶闸管极性反向,重复上述的测量。

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) 通态峰值电流 I_{TM} ;
- c) 断态峰值电压 V_{DM} ;
- d) 门极偏置条件(换向电压上升期间);
- e) 通态电流下降率 ($-di/dt$)。

9.1.13 恢复电荷和反向恢复时间 (Q_r, t_{rr})

9.1.13.1 正弦半波法

目的:

在规定条件下,测量晶闸管的恢复电荷 Q_r 和反向恢复时间 t_{rr} 。

电路图和波形:

电路和波形如图 52 和图 53 所示。

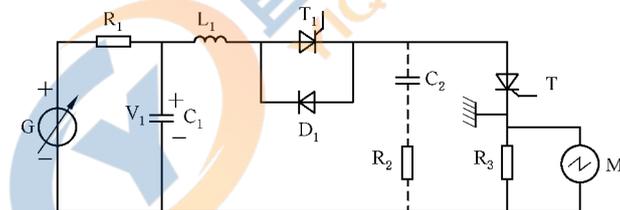


图 52 恢复电荷和反向恢复时间的测试电路(正弦半波法)

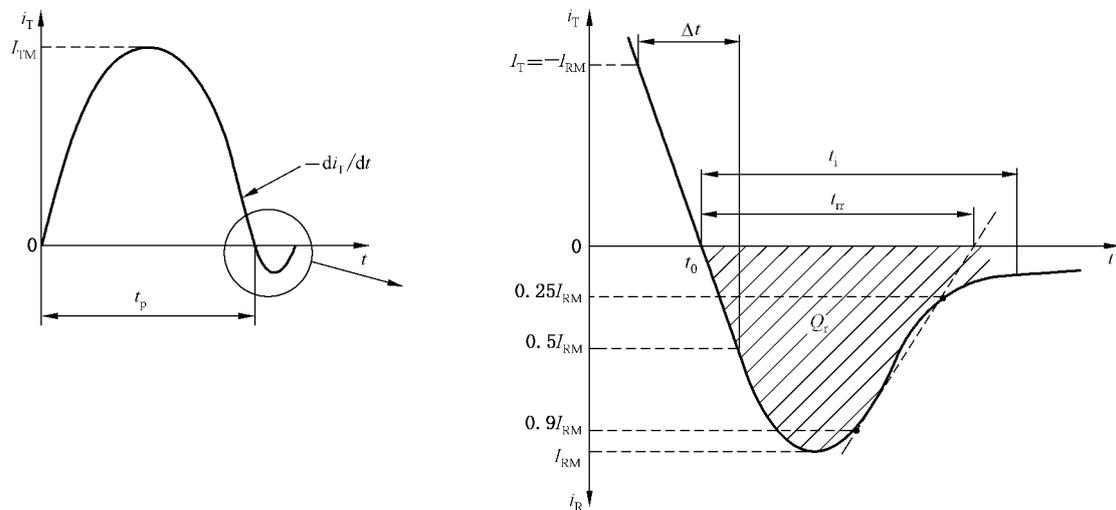


图 53 通过晶闸管 T 的电流波形(正弦半波法)

电路说明和要求：

- T——受试晶闸管；
- C₁——提供通态电流的电容器(见 L₁)；
- C₂——抑制反向感应高电压的电容器；
- D₁——反并联二极管；
- G——通态电流发生器；
- L₁——调整通态电流下降率 $-di_T/dt$ 和脉冲持续时间 ($t_p = \pi \times \sqrt{L_1 \times C_1}$) 的电感器；
- M——测量仪器(如示波器)；
- R₁——C₁ 充电的限流电阻器；
- R₂——抑制反向感应高电压的电阻器；
- R₃——校准过的电流测量无感电阻器；
- T₁——电子开关(如晶闸管)。

测量程序：

同时触发晶闸管 T₁ 和受试晶闸管 T, 调整通态电流发生器 G, 使通过晶闸管 T 的通态峰值电流 I_{TM} 为规定值。脉冲持续时间 t_p、通态电流下降率 ($-di_T/dt$) 和 C₁ 两端的电压 V₁ 应与规定条件相符。

被测恢复电荷由式(17)给出：

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0+t_i} i_R dt \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- t₀——电流过零瞬间；
- t_i——规定的积分时间, 优先等于规定的 t_{rr} 最大值。

被测反向恢复时间 t_{rr} 为: t₀ 和 i_R 值下降到两规定点 (0.9I_{RM} 和 0.25I_{RM}) 连线与零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) 通态峰值电流 I_{TM}；
- c) C₁ 两端的电压 V₁；
- d) 通态电流脉冲持续时间 t_p；
- e) 通态电流下降率 $-di_T/dt$ ；

注：在电流过零时测量通态电流下降率, 如可能有 i_T = -I_{RM} 和 i_R = 0.5I_{RM} 之间的电流值, 则有式(18)：

$$-di_T/dt = \frac{3}{2} \times \frac{I_{RM}}{\Delta t} \text{ (见图 53)} \dots\dots\dots (18)$$

- f) 积分时间 t_i；
- g) C₁、C₂ 和 R₂。

9.1.13.2 矩形波法

目的：

在规定条件下, 测量晶闸管的恢复电荷 Q_r 和反向恢复时间 t_{rr}。

电路图和波形：

电路和波形如图 54 和图 55 所示。

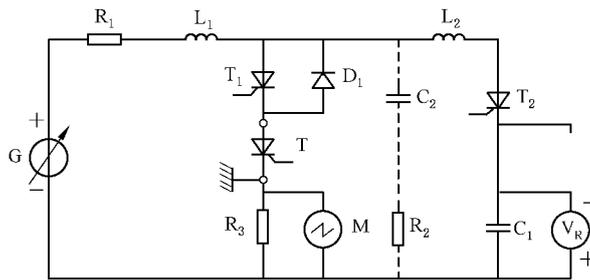


图 54 恢复电荷和反向恢复时间的测试电路(矩形波法)

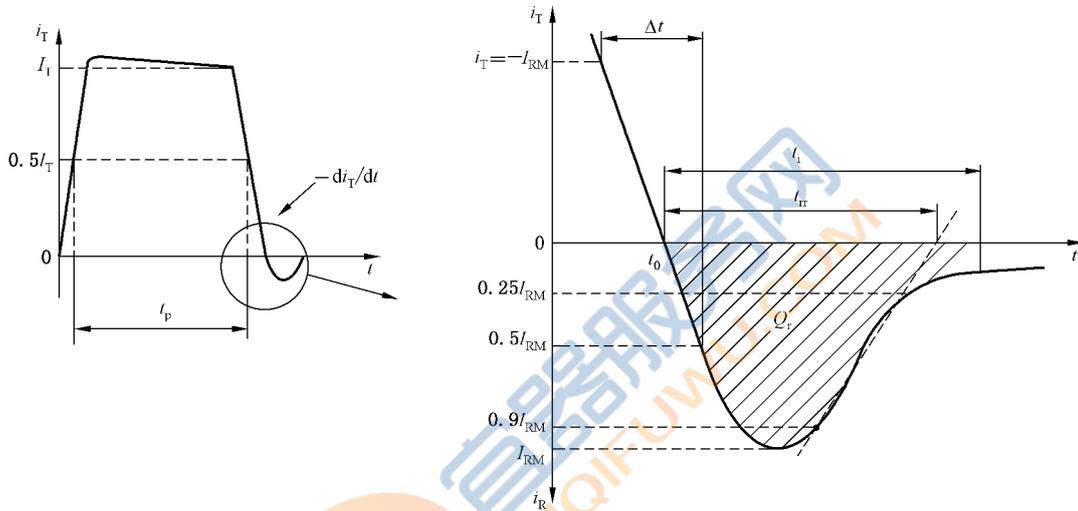


图 55 通过晶闸管 T 的电流波形(矩形波法)

电路说明和要求：

- T —— 受试晶闸管；
- C₁ —— 提供 T 的反向恢复电流的电容器；
- C₂ —— 抑制反向感应高电压的电容器；
- D₁ —— 反并联二极管；
- G —— 通态电流发生器；
- M —— 测量仪器(如示波器)；
- L₁ —— 阻断反向电压的电感器(L_1/R_1 的值选择比时间 t_p 小很多)；
- L₂ —— 调整通态电流下降率($-di_T/dt$)的电感器；
- R₁ —— 限制通态电流的电阻器；
- R₂ —— 抑制反向感应高电压的电阻器；
- R₃ —— 校准过的电流测量无感电阻器；
- T₁, T₂ —— 电子开关(如晶闸管)。

测量程序：

同时触发晶闸管 T₁ 和受试晶闸管 T, 在触发 T₂ 前调整通态电流发生器, 使通态电流 I_T 为规定值。在时间 t_p 后触发晶闸管 T₂, 用外加反向电压 V_R 使通过晶闸管的电流反向。用与电容器 C₁ 和电感器 L₂ 有关的反向电压 V_R , 调整通态电流下降率至规定值。被测恢复电荷由式(17)给出。

被测反向恢复时间 t_{rr} 为： t_0 和 i_R 值下降到两规定点 ($0.9I_{RM}$ 和 $0.25I_{RM}$) 连线与零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) 触发 T_2 前的通态电流 I_T ；
- c) 反向电压 V_R ；
- d) 通态电流脉冲持续时间 t_p ；
- e) 通态电流下降率 $-di_T/dt$ ；

注：在电流过零时测量通态电流下降率，如可能有 $i_T = -I_{RM}$ 和 $i_R = 0.5I_{RM}$ 之间的电流值，则有式(18)(见图 55)。

- f) 积分时间 t_i ；
- g) L_1 、 L_2 、 C_2 和 R_2 。

9.1.14 反向导通晶闸管的电路换向关断时间 (t_q)

目的：

在规定的条件下，测量反向导通晶闸管(二极管和晶闸管集成在同一硅片上)或反并联二极管的(不对称)反向阻断晶闸管的电路换向关断时间。

电路图和波形：

电路和波形如图 56 和图 57 所示。

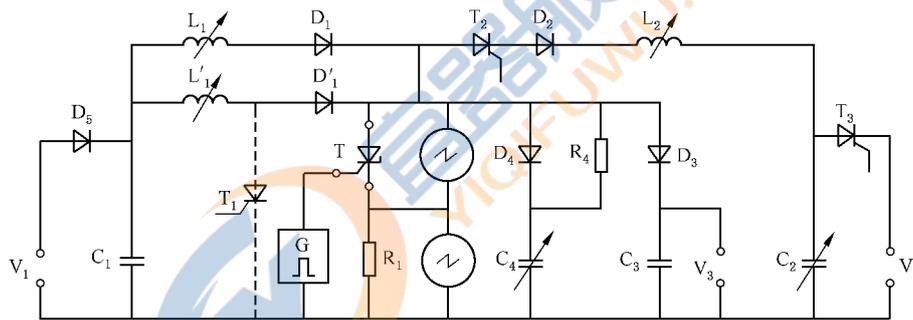


图 56 反向导通晶闸管的电路换向关断时间的测试电路

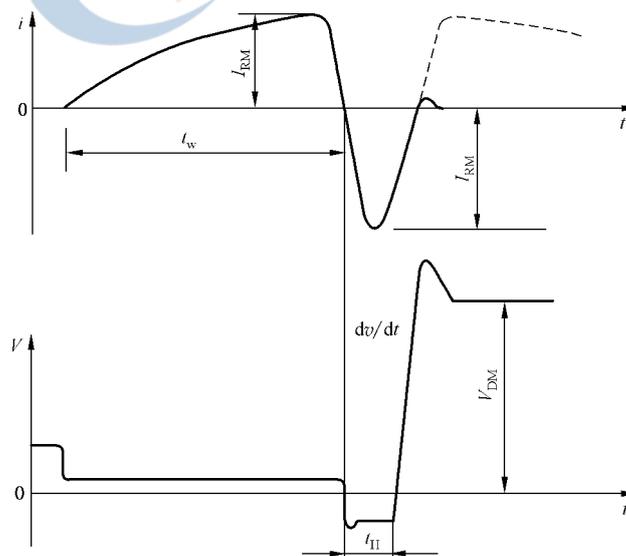


图 57 反向导通晶闸管的电路换向关断时间的电流和电压波形

电路说明和要求：

T	——受试晶闸管；
V_1	——通态电流源；
V_2	——反向电流源；
V_3	——箝位再加断态电压的电压；
C_1, L_1, L'_1	——产生半波通态电流的振荡电路；
C_2, L_2	——产生半波反向电流的振荡电路；
C_4	——决定再加断态电压上升率的电容器；
T_1	——当受试晶闸管转折时，减少通过其电流的晶闸管；
T_2	——启动反向导通的晶闸管；
G	——触发脉冲发生器；
R_1	——校准过的电流测量无感电阻器；
D_1, D'_1, D_2, D_3, D_4	——快恢复二极管。

在与电压 V_1 和 V_2 (触发 T_3 时) 同一半周期期间，电容器 C_1 和 C_2 充电。在紧接的半周期期间，触发受试晶闸管并导通四分之一正弦波，波形由 V_1, C_1, L_1 (和 L'_1) 决定。

通态电流达到峰值 I_{TM} 瞬间，触发晶闸管 T_2 ，使通过受试晶闸管的电流反向。正弦半波反向电流由 V_2, C_2 和 L_2 决定，其持续时间决定维持关断间隔 t_H (见图 57)。

经反向电流半波后，电流由 C_1 和 L_1 几乎是线性地对电容器 C_4 充电。 C_4 两端电压的上升率由充电电流和 C_4 值决定，并可调整 C_4 改变。由箝位电压 V_3 限制峰值 V_{DM} 。二极管 D_1 防止 C_4 放电，以使受试晶闸管两端的电压在一定时间保持在 V_{DM} 值。

R_4 的值应足够大，以限制 C_4 当受试晶闸管转折时的放电电流。

合理地分为 L_1, D_1 和 L'_1, D'_1 两支路，并增加与 T_2 同时触发的辅助晶闸管 T_1 ，以使当再加正向电压时，来自 C_1 对 C_4 充电的电流仅是一小部分 (在此宁可使 C_4 小一些)，或当受试晶闸管转折时那小部分电流流过它。

测量程序：

设定温度为规定值。

接通触发脉冲发生器。

调整 V_1 和 L_1 ，设定通过受试晶闸管的电流为规定值。

调整 V_2, L_2 和 C_2 ，设定反向电流为规定值。

调整 V_3 ，设定再加断态峰值电压为规定值。

调整 C_4 ，设定断态电压上升率为规定值。

调整 L_2 和 C_2 ，减小维持关断间隔 t_H 至器件刚好不转折，此时的 t_H 值即为电路换向关断时间 t_q 。

注：为确保换向后来自 C_1 的电流不流入 C_2 ，电压 V_2 应高于 V_{DM} 。

规定下列条件的数值：

- 管壳温度或基准点温度 (T_c 或 T_r)；
- 通态峰值电流 I_{TM} ；
- 四分之一正弦波通态电流的持续时间 t_w ；
- 反向峰值电流 I_{RM} ；
- 再加断态电压 V_{DM} ；
- 再加断态电压上升率 dv/dt ；
- 门极电路条件。

9.1.15 GTO 晶闸管的关断特性**目的：**

在规定条件下，测量门极关断晶闸管的 (门极控制) 关断延迟时间 (t_{dq})、(门极控制) 关断时间 (t_{gq})、

尾部时间(t_z)、(门极控制)下降时间(t_{fq})和尾部电流(I_{ZM})。

电路图和波形：

电路和波形如图 58 和图 59 所示。

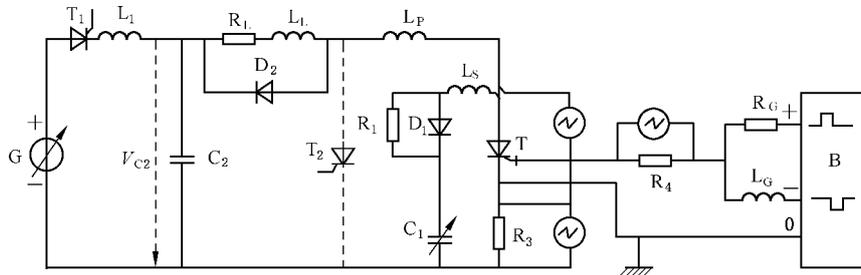


图 58 GTO 晶闸管的关断特性测试电路

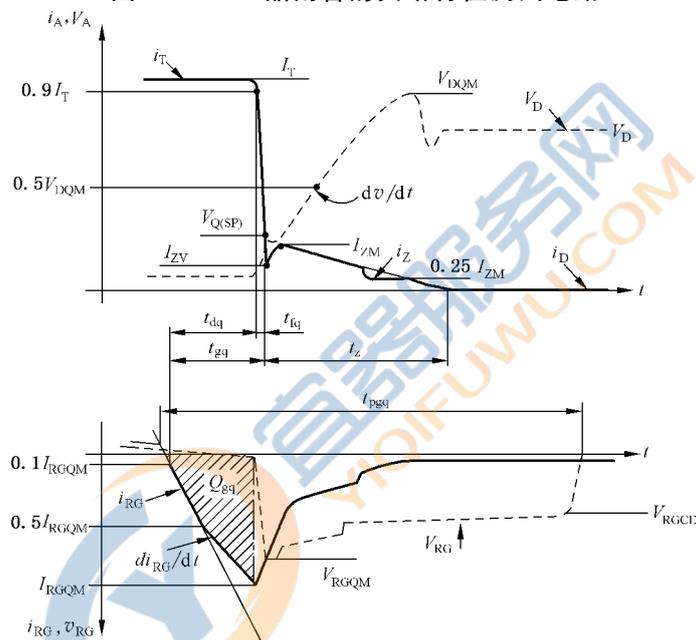


图 59 GTO 晶闸管关断期间的电压和电流波形

电路说明和要求：

T —— 受试晶闸管；

G —— 低内阻的直流电流源；

C_2 —— 具有大容量和电压 V_{C2} 的充电电容器；

R_L, L_L —— 限定通态峰值电流 I_{TM} 和通态电流上升率 di/dt 的负载电阻器、负载电感器, 有式(19)和式(20)：

$$di/dt = \frac{V_{C2}}{L_L + L_P} \dots\dots\dots (19)$$

$$I_{TM} = \frac{V_{C2}}{R_L} \dots\dots\dots (20)$$

C_1 —— 用于在关断期间调整再加断态电压上升率 dv/dt 的吸收电容器, 有式(21)：

$$dv/dt = \frac{I_{TM}}{C_1} \dots\dots\dots (21)$$

R_1 —— 在关断期间限制 C_1 放电速率的吸收电阻器；

- D_1 ——在关断期间对吸收电阻器 R_1 起旁路作用的吸收二极管；
 T_1 —— C_2 充电的辅助晶闸管；
 L_1 ——限制通过 T_1 的 di/dt 的电感器；
 D_2 ——续流二极管；
 T_2 ——保护用晶闸管；
 R_3 ——测量主电流的分流器；
 R_4 ——测量门极电流的分流器；
 B ——开通和关断的触发电路；
 R_G ——门极和触发电路电压源之间的总电阻(包括联结)；
 L_G ——在关断期间晶闸管内阻增大时,保持门极关断电流 I_{RGQ} 恒定的电感器；
 L_S ——吸收电路的电感器；
 L_P ——寄生电感(见后面的注意事项)。

触发 T_1 ,由直流电流源 G 对电容器 C_2 充电。关断 T_1 ,由门极正向电流 I_{FG} 触发受试 GTO 晶闸管 T ,导通规定的通态电流 I_{TM} 。此通态电流在选择导通时间结束时被门极关断电流 I_{RGQ} 所关断。

由此,受试器件 T 两端的电压以设定的 dv/dt 上升到 V_{DQM} 。

此测量程序可周期地和非重复地进行。

注:电流导通时间宜这样选择:当其增加为两倍时,测得的关断时间间隔不发生变化,也不出现尾部电流。

注意事项:

受试器件 T 和续流二极管 D_2 之间的寄生电感 L_P 应减至最小,以使 T 两端的电压 V_{DQM} 和 C_2 两端的电压 V_{C2} 之差尽可能小。

当周期地测量时,重复频率选择应使受试 GTO 晶闸管的结温不升高。

电路的设置应十分小心,以避免受试器件过载。保护分支电路的 C_1 和 D_1 特别重要,此支路的寄生电感和二极管的电压决定关断尖峰电压的值。应注意不要超过制造厂定义的安全值。

应采取措施,防止在关断期间受试器件由于不能承受阻断电压而再次触发引起的损坏。为保证受试器件不致损坏,可采用起保护作用的晶闸管 T_2 。

测量程序:

设定管壳温度为规定值。

晶闸管 T_1 的触发电路和 GTO 晶闸管 T 的门极驱动电路是同步的,这样得到重复频率 f_0 。

电流源 G 设定输出规定的负载电流。分别调整负载电路的元件 R_L 和 L_L ,使得到需要的断态电压 V_{DQM} 。

调整 C_1 ,使断态电压上升率固定在规定值。

然后检查关断尖峰电压 $V_{Q(SP)}$ 。

调整 L_S 至规定值。

调整 V_{C2} 以得到规定的 V_D 值。

调整 L_P 以得到规定的 V_{DM} 值。

用双线示波器观测关断延迟时间、尾部时间、下降时间和尾部电流。

门极关断峰值电流可用其他示波器观测。

在再加断态电压期间应避免受试器件再次触发的关断状态,这适合于求极限值。

规定下列条件的数值:

- 管壳温度 T_c ;
- 重复频率 f_0 ;
- 通态电流的持续时间 t_w 和幅值 I_{TM} ;
- 断态峰值电压 V_{DQM} ;

- e) 触发电路 B 的条件;
- f) 门极关断电流上升率 di_{GQ}/dt ;
- g) 断态电压上升率 dv_D/dt 或吸收电容器 C_1 的值;
- h) 与关断尖峰电压 $V_{Q(SP)}$ 有关的吸收电路的寄生电感 L_S 。

9.1.16 一个周期的总损耗能量(快开关晶闸管的)

也可采用在 9.3.4 中叙述的检验高开关频率的最大额定通态电流的方法,决定开关频率的一个周期的总损耗能量,此总损耗能量由式(22)表示:

$$E_p = \int_0^{t_w} v(t) \times i(t) dt \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

- $v(t)$ ——晶闸管两端的电压;
- $i(t)$ ——流过晶闸管的电流;
- t_w ——一个周期的持续时间。

实际上,用式(22)决定 E_p 是困难的,因此可采用下面的方法代替它。

通过直流通态电流的晶闸管管壳基准点温度达到预先晶闸管脉冲工作时测量的相同温度。两个温度测量应在完全相同的冷却条件和相同的热平衡条件下进行。

受试晶闸管的直流通态电流与通态电压的乘积,与晶闸管在脉冲工作时的总损耗功率相同。

一个周期的总损耗能量由总损耗功率除以重复频率得到。

9.2 热特性的测量方法

注 1: 当方法 A、B、C 适用时,则本叙述既适用于管壳额定又适用于环境额定的晶闸管。为此,借助基准点温度 T_r 来表述,在此, T_r 是 T_c 或 T_a 。

注 2: 为了更加清晰,“等效结”的下标“vj”缩写为“j”。

9.2.1 管壳温度的测量

如基准点是制造厂已钻好的一个孔,则管壳温度借助热敏元器件(如热偶)插入该孔中进行测量。热偶小球用熔焊,而不用锡焊或较扭形成。热偶小球插入孔中,并拍击孔边金属将小球密实盖住。

对于其他器件,借助于热容可忽略的热敏元件测量基准点的温度。热敏元件用粘合、焊接,或夹、卡的方法与基准点坚实地接触,以确保热阻可以忽略。

9.2.2 热阻(R_{th})和瞬态热阻抗(Z_{th})的测量方法概述

A 采用晶闸管热敏特性给出等效结温的方法

方法 A

采用在小百分比额定通态电流时的晶闸管通态电压作为热敏特性,可用灵敏度约为 $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。

由于下述原因,此方法较少用于大直径硅片晶闸管:在用小基准电流测量期间,有效面积随温度和时间而变化,并减小到一个未知的很小面积。

方法 B

方法 B 也是采用晶闸管的通态电压作为热敏特性的方法,但基准电流值是典型的大于额定通态电流。此方法较好地适用于大直径硅片的晶闸管和所有 GTO 晶闸管。可用灵敏度约为 $+6 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。

方法 C(仅用于 GTO 晶闸管)

本方法采用基准门极脉冲电流的门极雪崩电压作为热敏特性。如 GTO 晶闸管一般都有门极雪崩特性,故适用本方法。可用灵敏度约为 $+20 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。

B 采用热流测量的方法**方法 D(仅用于 R_{th})**

本方法适用于从阳极侧和阴极侧两面冷却的平板形管壳封装的所有晶闸管。

本方法允许分别测量等效结到阴极侧的热阻($R_{th(j-c)K}$)和等效结到阳极侧的热阻($R_{th(j-c)A}$)。

9.2.3 方法 A**9.2.3.1 热阻(R_{th})**

目的:

测量晶闸管等效结和基准点间的热阻。

方法原理:

在不同的两个损耗功率 $P(1)$ 、 $P(2)$ 和两个冷却条件产生相同等效结温的条件下,测量基准点的温度 $T_r(1)$ 和 $T_r(2)$,用基准电流的通态电压检查达到相同的结温。则有式(23):

$$R_{th} = \frac{T_r(1) - T_r(2)}{P(2) - P(1)} \dots\dots\dots (23)$$

基本电路图:

电路如图 60 所示。

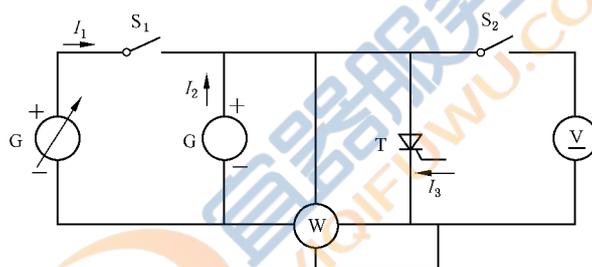


图 60 热阻 R_{th} 的基本测试电路(方法 A)

电路说明和要求:

T —— 受试晶闸管;

I_1 —— 加热电流,直流或交流电流;

I_2 —— 在加热电流周期性切断的短时间间隙,用于监测的基准直流电流;

I_3 —— 维持晶闸管通态的触发电流,直流或脉冲电流(规定脉冲条件);

W —— 在加热周期期间,指示结的总损耗功率的瓦特表(对于交流法,W 测量平均损耗功率);

S_1 —— 周期性切断加热电流 I_1 的电子开关(直流法),对于交流法 S_1 不一定需要;

S_2 —— 当加热电流 I_1 切断时闭合的电子开关;

V —— 零位法电压表。

注意事项:

当加热电流切断时,由于过剩电荷载流子,会产生瞬态电压。如受试器件管壳含有铁磁材料,会产生附加的瞬态电压。因此,在这些瞬态电压消失前,开关 S_2 不应闭合。

一般,基准电流 I_2 应足够大,以维持整个结面积通态。为此,应在紧接两端电压阶跃变化后确保该电流稳定。该阶跃变化系指当加热电流切断时,受试晶闸管的通态电压从一个相对较高的值迅速下降到一个较低值。

测量程序:

受试器件的安装应使基准点温度能充分地稳定在固定值,并能按 9.2.1 的要求测量。测量分两步进行:

- a) 基准点保持在较高的温度 $T_r(1)$ 。施加较小的加热电流 I_1 在结中产生总损耗功率 $P(1)$ ，达到热平衡后，调整零位法电压表 V 为零平衡，记录 $T_r(1)$ 和 $P(1)$ 。
- b) 基准点保持在较低的温度 $T_r(2)$ 。增大加热电流 I_1 ，使总损耗功率 $P(2)$ 加热结至与第一步期间相同的温度。用零位法电压表 V 的零平衡显示该结果。记录 $T_r(2)$ 和 $P(2)$ 。

热阻 R_{th} 用式(24)计算：

$$R_{th} = \frac{T_r(1) - T_r(2)}{P(2) - P(1)} \dots\dots\dots(24)$$

9.2.3.2 瞬态热阻抗 (Z_{th})

目的：

测量晶闸管等效结和基准点间的瞬态热阻抗。

方法原理：

在热平衡时，制作基准电流 I_2 的通态电压作为基准点温度的函数的校准曲线。

利用校准曲线，对冷却期间 t 的起始到终止的各通态电压值和各基准点温度计算瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 。

t 是紧接晶闸管被试验功率加热达到热平衡的加热周期之后的时间期间。

基本电路图：

电路如图 61 所示。

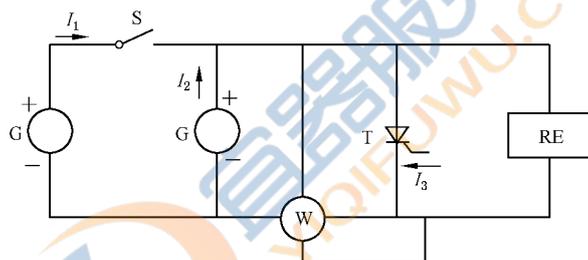


图 61 瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 的基本测试电路(方法 A)

电路说明和要求：

- T —— 受试晶闸管；
- I_1 —— 加热电流；
- I_2 —— 直流基准电流；
- I_3 —— 触发电流；
- S —— 切断加热电流 I_1 的电子开关；
- W —— 在加热期间，指示结总损耗功率的瓦特表；
- RE —— 记录设备，如记录由 I_2 产生的随时间变化的正向电压 V_T 的示波器。

注意事项：

一般，基准电流 I_2 应足够大，以维持整个结面积通态。

测量程序：

受试器件的安装应使基准点温度能充分稳定在固定值，并能按 9.2.1 规定的要求进行测量。

断开开关 S，把 I_2 调整到固定值。

校准曲线(见下面注) $V_T^* = f(T_r^*)$ ，在热平衡条件下，由测量基准电流 I_2 产生的通态电压 V_T^* 及对应的基准点温度 T_r^* (用外加热变化) 而建立。

注：用文字符号上标 * 表示校准曲线上的值。

闭合开关 S，施加加热电流 I_1 ，达到热平衡后，记录 $t=0$ 时的晶闸管损耗功率 $P(0)$ 和通态电压 $V_T(0)$ 。

在 $t=0$ 时(冷却周期开始)断开开关 S,切断加热电流。作为冷却时间的函数,记录 I_2 产生的通态电压。如基准点温度不能充分稳定,还应记录基准点温度的变化过程。

在充分达到新的热平衡后,再记录损耗功率 $P(t)$ 。

对于给定的冷却时间 t ,瞬态热阻抗用式(25)计算:

$$Z_{th}(t) = \frac{[T_r^*(0) - T_r^*(t)] - [T_r(0) - T_r(t)]}{P(0) - P(t)} \dots\dots\dots(25)$$

式中:

$T_r^*(0)、T_r^*(t)$ ——校准曲线上 V_T^* 分别等于测量值 $V_T(0)、V_T(t)$ 时对应的温度;

$T_r(0)、T_r(t)$ ——分别是 $t=0$ 和 $t=t$ 时的测量值。

9.2.4 方法 B

9.2.4.1 测量方法的原理

等效结温(T_j)的测量

为测量在给定瞬间 t_m 的 T_{jm} 值,在该瞬间实际通态电流上叠加一个正弦半波电流脉冲并满足下列要求(见图 62):

- a) 在 $t=t_m$ 时,脉冲电流达到峰值 I_{TM} ,为此,脉冲在 $t=t_m-t_r$ 开始,这里, t_r 是脉冲达到峰值的上升时间;
- b) 脉冲持续时间 $2t_r$ 小于硅芯片的热时间常数,但也应足够大,以使晶闸管中的电荷载流子在 t_r 后达到平衡;
- c) 控制附加脉冲的幅值,使不依赖于预加负载 I_{Tm} ,并总是达到相同的峰值 I_{TM} (基准测量电流);
- d) I_{TM} 值应典型地大于额定通态电流值。

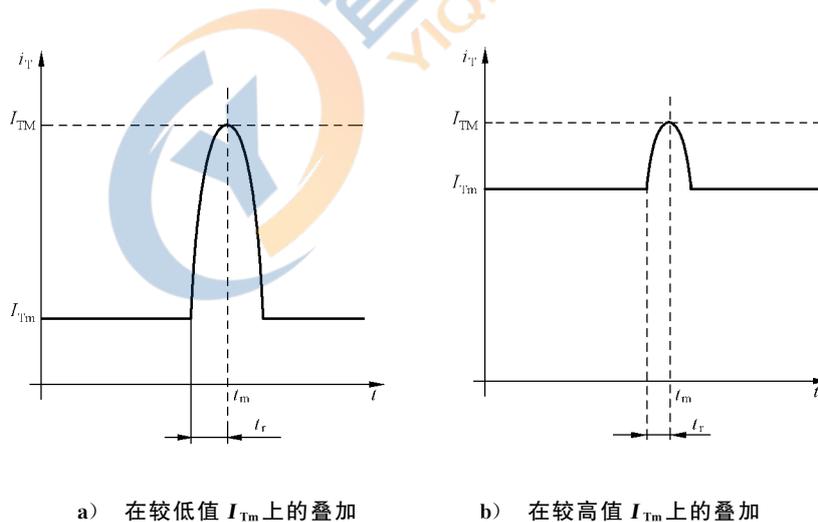


图 62 在不同通态电流上叠加基准电流脉冲

在电流脉冲期间,叠加的损耗功率引起叠加的等效结温升,这是不能忽略的。图 63 表示了更一般的情况:在 $t=0$ 时, P 从 $P(1)$ 减小到较低值 $P(2)$ 后,在 $t=t_m$ 时还未达到热平衡。

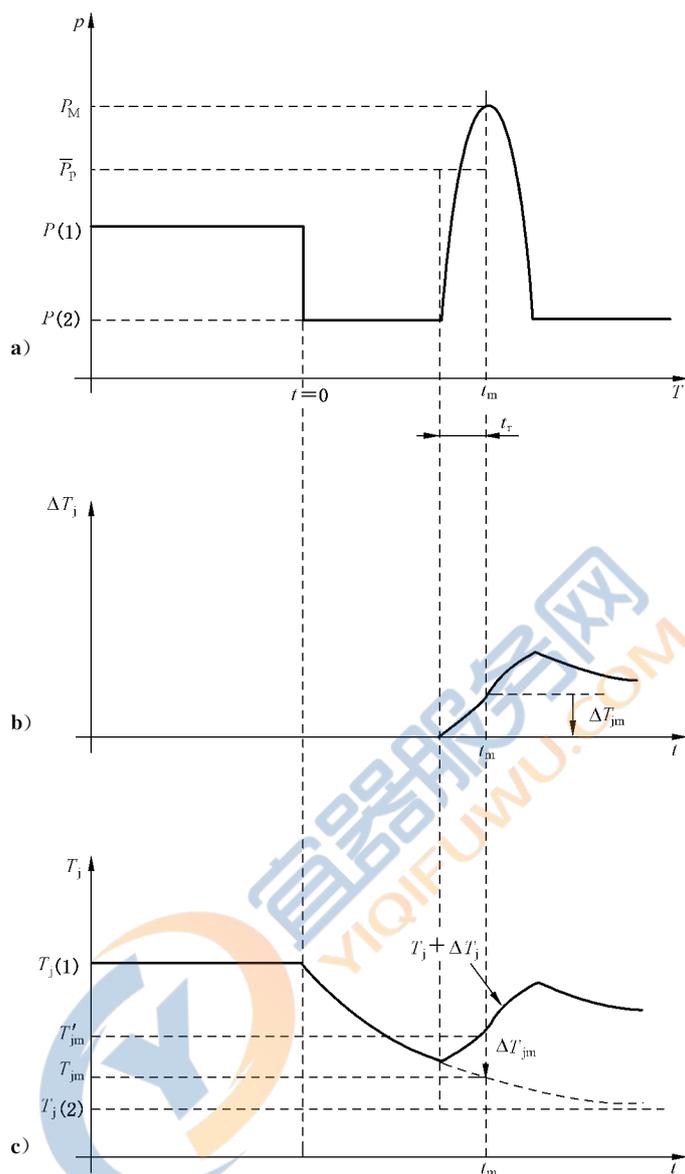


图 63 损耗功率和等效结温的波形(一般情况)

图 63b)中的实线表示附加温升 ΔT_j , 此温升在 $t = t_m$ 时达到 ΔT_{jm} 值。

图 63c)表示 ΔT_j 对 T_j 线性附加得到的等效结温曲线。

在 $t = t_m$ 时达到值 $T'_{jm} = T_{jm} + \Delta T_{jm}$, 此值利用校准曲线得到, 则被测值应按式(26)计算:

$$T_{jm} = T'_{jm} - \Delta T_{jm} \quad \dots\dots\dots (26)$$

为此, 由已知的晶闸管典型参数值能计算足够准确的 ΔT_{jm} 值。

由于 ΔT_j 对 T_j 是线性叠加, T'_{jm} 值就不依赖于是否在 t_m 时已经达到热平衡, 因此测量方法适用于 R_{th} 和 $Z_{th}(t)$ 的测量。

ΔT_{jm} 的计算

如以上列出的要求都满足, 则 t_r 期间 P 的曲线可用恒定损耗功率 $\overline{P_p}$ [见图 63a)的虚线]代替, $\overline{P_p}$ 等于 t_r 期间实际损耗功率的平均值。在一阶近似中, 应进一步假定叠加后的损耗功率实际曲线也具有正弦波形式, 则有式(27)和式(28):

$$\overline{P_p} - P(2) = \frac{2}{\pi} \times (P_M - P(2)) \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$\Delta T_{jm} = \frac{2}{\pi} \times (P_M - P(2)) \times Z_{th}(t_r) \quad \dots\dots\dots (28)$$

如已知通态特性近似直线,则式(28)中的因数 $2/\pi$ 可以更准确地计算,但这已经相当小校正值 ΔT_{jm} 再进一步校正是不必要的。故而,图 63 不以刻度描出。实际按 $(P_M - P(2)) \times R_{th}$ 的小部分表示 ΔT_{jm} ,即对很大的 t_r 值将达到最大变化的温度为式(29):

$$\Delta T_{jm} = \epsilon \times (P_M - P(2)) \times R_{th} \quad \dots\dots\dots (29)$$

则式(26)为

$$T_{jm} = T'_{jm} - \epsilon \times (P_M - P(2)) \times R_{th} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

$$\epsilon = \frac{2}{\pi} \times \frac{Z_{th}(t_r)}{R_{th}} \quad \dots\dots\dots (31)$$

显然,由两个 T_{jm} 之差计算 R_{th} 或 Z_{th} 值和由已知的 R_{th} 、 Z_{th} 值计算该两个温度值[式(30)]是测量方法的缺点。但是按上述,校正因数 ϵ 是如此之小,以致计算可采用 R_{th} 和 $Z_{th}(t_r)$ 的典型值。

ϵ 的计算

当未直接规定 $Z_{th}(t_r)$ 的典型值时, ϵ 可由如下给出的其他典型参数值计算:

a) 由硅芯片的体积 V 。如 T_{jm} 测量中,上述列出的各项要求都满足,则在 t_r 期间,实际总损耗能量贮存在芯片的热容 C_{th} 中,并有式(32):

$$\Delta T_{jm} \approx \frac{2}{\pi} \times \frac{t_r}{C_{th}} \times (P_M - P(2)) \quad \dots\dots\dots (32)$$

C_{th} 由已知的芯片体积按式(33)计算:

$$C_{th} = V \times c \times \rho \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

V —— 体积,单位为立方厘米(cm^3);

c —— 比热容, $0.735 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{g})$;

ρ —— 硅的密度, $2.34 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

于是,由式(29)和式(32)得到式(34):

$$\epsilon = \frac{2}{\pi} \times \frac{t_r}{C_{th} \times R_{th}} \quad \dots\dots\dots (34)$$

b) $Z_{th}(t)$ 为式(35)规定的分析函数:

$$Z_{th}(t) = \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-t/\tau_i}) \quad \dots\dots\dots (35)$$

由(35)式得到 $Z_{th} = f(t)$ 的初始斜率:

$$(dZ_{th}/dt)_{t=0} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{\tau_i} \quad \dots\dots\dots (36)$$

于是有

$$Z_{th}(t_r) = t_r \times (dZ_{th}/dt)_{t=0} \quad \dots\dots\dots (37)$$

和

$$\epsilon = \frac{2}{\pi} \times \frac{t_r}{R_{th}} \times \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{\tau_i} \quad \dots\dots\dots (38)$$

校准曲线的制作和应用:

注 1: 用文字符号的上标“*”表示校准曲线的值。

为制作校准曲线,选取基准电流脉冲的峰值 I_{TM} 和恒定预加负载值 P^* 。

采用从外部对接触晶闸管的金属板电热或在油槽中加热的方法,改变基准点温度 T_r^* 。在热平衡条件下,测量各不同 T_r^* 值的通态峰值电压(V_{TM}^*)。校准曲线按 $V_{TM}^* = f(T_r^*)$ 绘制,见图 64。

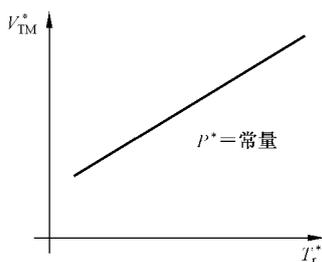


图 64 校准曲线

测得的峰值 V_{TM}^* 很好地对应 $t = t_m$ 时 V_{TM} 值, 这样对于 V_{TM}^* 就可按式(39)计算 T_{jm}^* :

$$T_{jm}^* = T_r^* + P^* \times R_{th} + T_j^* \quad \dots\dots\dots (39)$$

用式(29)得式(40):

$$T_{jm}^* = T_r^* + P^* \times R_{th} + \epsilon \times (P_M - P^*) \times R_{th} \quad \dots\dots\dots (40)$$

为测量在 t_m 时的 T_{jm} , 测量在 t_m 时的峰值 V_{TM} , 并从校准曲线得到对应 T_r^* 值的 $V_{TM}^* = V'_{TM}$ 。

由 $V_{TM}^* = V'_{TM}$ 得 $T_{jm}^* = T'_{jm}$

再用式(30)和式(40)得式(41):

$$T_{jm}^* = T_r^* + P^* \times R_{th} + \epsilon \times (P(2) - P^*) \times R_{th} \quad \dots\dots\dots (41)$$

式(41)可用于计算 T_{jm} , 但对目前的测量方法不必要, 因为由两个 T_r^* 值之差计算 R_{th} 或 Z_{th} 时, 相互抵消了 P^* 项。

R_{th} 的计算

对两个不同的损耗功率($P(1)$ 、 $P(2)$), 通过控制基准点温度($T_r(1)$ 、 $T_r(2)$)使两者在热平衡时达到相同的通态峰值电压($V_{TM}(1) = V_{TM}(2)$), 从而具有相同的等效结温, 见式(42):

$$T'_{jm}(1) = T'_{jm}(2) \quad \dots\dots\dots (42)$$

而

$$T_{jm} = T_r + P \times R_{th} \quad \dots\dots\dots (43)$$

用式(30)和式(43)代入式(42), 得式(44):

$$R_{th} = \frac{1}{1 - \epsilon} \times \frac{T_r(1) - T_r(2)}{P(2) - P(1)} \quad \dots\dots\dots (44)$$

$Z_{th}(t)$ 的计算:

注 2: 计算 $Z_{th}(t)$ 时, 用表示时间的(0)和(t)分别代替(1)和(2)。

在热平衡条件下, 首先测量基准点温度 $T_r(0)$ 、损耗功率 $P(0)$ 和 $V_{TM}(0)$ 。在 $t=0$ 时, 急剧减小损耗功率至 $P(t)$ 。在规定的的时间 t , 再一次测量 $T_r(t)$ 和 $V_{TM}(t)$ 。

由校准曲线查出对应 $V_{TM}(0)$ 、 $V_{TM}(t)$ 的 $T_r^*(0)$ 、 $T_r^*(t)$ 值, 则有式(45):

$$Z_{th}(t) = \frac{[T_{jm}(0) - T_{jm}(t)] - [T_r(0) - T_r(t)]}{P(0) - P(t)} \quad \dots\dots\dots (45)$$

用式(46)

$$T_{jm}(0, t) = T_r^*(0, t) + P^* \times R_{th} + \epsilon \times (P(0, t) - P^*) \times R_{th} \quad \dots\dots\dots (46)$$

代入式(45), 得式(47):

$$Z_{th}(t) = \frac{[T_r^*(0) - T_r^*(t)] - [T_r(0) - T_r(t)]}{P(0) - P(t)} + \epsilon \times R_{th} \quad \dots\dots\dots (47)$$

9.2.4.2 热阻(R_{th})

目的:

测量等效结和基准点间的热阻, 优先适用于大功率晶闸管。

方法原理：

在不同的两个损耗功率 $P(1)$ 、 $P(2)$ 和两个冷却条件产生相同等效结温条件下，测量基准点的温度 $T_r(1)$ 和 $T_r(2)$ 。用基准电流脉冲峰值时的通态峰值电压检查达到相同的等效结温。

则有式(48)：

$$R_{th} = \frac{1}{1-\epsilon} \times \frac{T_r(1) - T_r(2)}{P(2) - P(1)} \dots\dots\dots (48)$$

ϵ 的意义见 9.2.4.1 的式(31)和式(34)。

基本电路图和波形：

电路和波形如图 65 和图 66 所示。

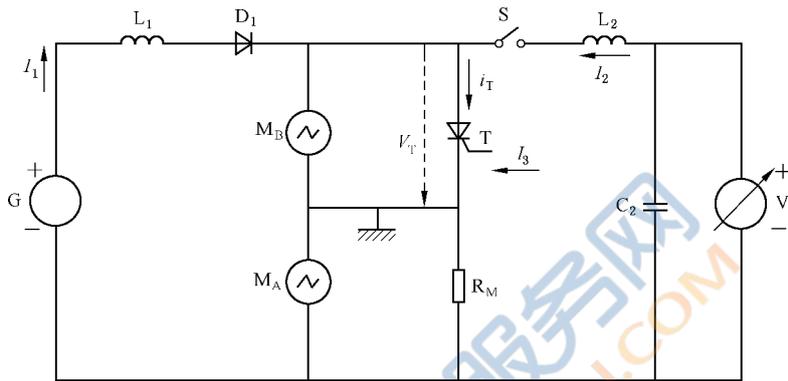


图 65 热阻 R_{th} 的基本测试电路(方法 B)

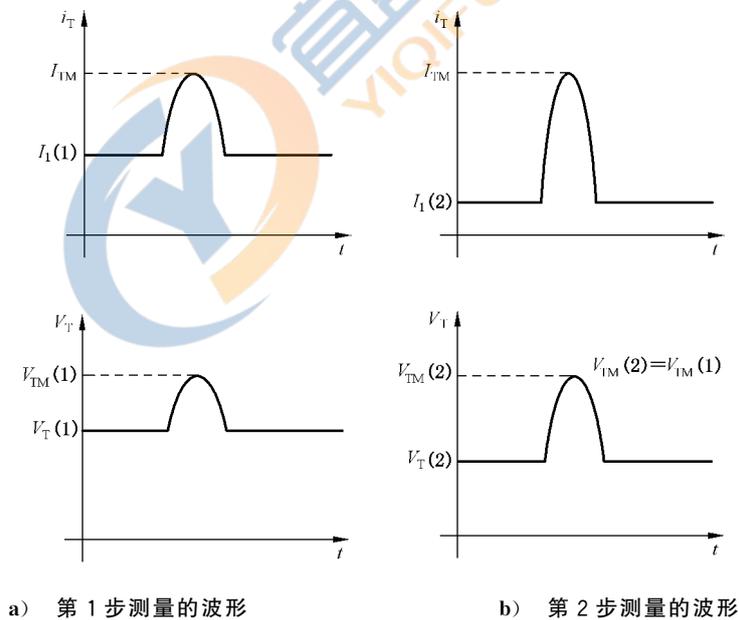


图 66 测量热阻的波形(方法 B)

电路说明和要求：

- T —— 受试晶闸管；
- C_2 —— 提供正弦波基准电流脉冲的电容器(还见 L_2)；
- D_1 —— 隔离二极管；
- G —— 在晶闸管 T 中产生损耗功率 P 的加热电流 I_1 的电流发生器；

- I_3 ——保持通态的触发电流；
- L_1 ——阻断基准电流脉冲的电感器；
- L_2 ——与 C_2 共同决定基准电流脉冲持续时间 ($2t_r$) 的电感器, $2t_r = \pi \sqrt{L_2 \times C_2}$ ；
- M_A ——测量加热电流 I_1 和基准测量电流 I_{TM} 的仪表, I_{TM} 是基准电流脉冲期间 I_T 的峰值；
- M_B ——测量加热电流 I_1 的通态电压 V_T 和基准电流脉冲产生的峰值电压 V_{TM} 的仪表；
- R_M ——校准过的电流测量无感电阻器；
- S ——电子开关；
- V_2 ——在基准电流脉冲期间, 设定峰值电流 I_{TM} 的电压源。

注意事项：

一般, 基准电流脉冲持续时间 $2t_r$ 应在 1 ms 范围, 以使其在其峰值 I_{TM} 时建立受试晶闸管 T 内的载流子平衡。由于正弦波从较低的电流开始, 对大功率晶闸管, 间隔时间 t_r 也足够长。

为获得最佳灵敏度 (mV/°C), 基准电流脉冲的峰值 I_{TM} 应是 3 倍~5 倍受试晶闸管额定通态电流。

测量程序：

受试晶闸管的安装应使基准点温度能充分稳定在固定值, 并能按 9.2.1 要求测量。

测量分两步进行 (见图 66)。

第一步: 基准点温度保持在一个较低值。测量通态电压 V_T , 调整加热电流达到损耗功率 $P(1) = I_1(1) \times V_T(1)$ 。调整基准电流脉冲至固定的基准测量电流值 (峰值 I_{TM})。达到热平衡后, 记录通态峰值电压 $V_{TM}(1)$ 和基准点温度 $T_r(1)$ 。

第二步: 在较低的加热电流 $I_1(2)$ 时, $I_1(2)$ 产生损耗功率 $P(2) = I_1(2) \times V_T(2)$ 。调整基准电流脉冲峰值达到与前一步相同的 I_{TM} 。升高基准点温度至得到与前一步相同的通态峰值电压, 即 $V_{TM}(2) = V_{TM}(1)$ 。记录基准点温度 $T_r(2)$ 。

热阻用式 (48) 计算。

ϵ 的意义见 9.2.4.1 的式 (31) 和式 (34), 大多数情况 ϵ 可近似为零。

9.2.4.3 瞬态热阻抗 ($Z_{th}(t)$)

目的：

测量等效结和基准点间的瞬态热阻抗, 优先适用于大功率晶闸管。

方法原理：

施加加热电流并建立热平衡后, 记录晶闸管的损耗功率、基准电流脉冲峰值时的通态电压和基准点温度。然后急剧降低加热电流, 同时记录作为时间的函数的基准电流脉冲峰值时的通态电压和基准点温度。

利用校准曲线, 将记录的通态电压值转换为对应的等效结温, 并由此计算瞬态热阻抗。

基本电路图和波形：

电路和波形如图 67 和图 68 所示。

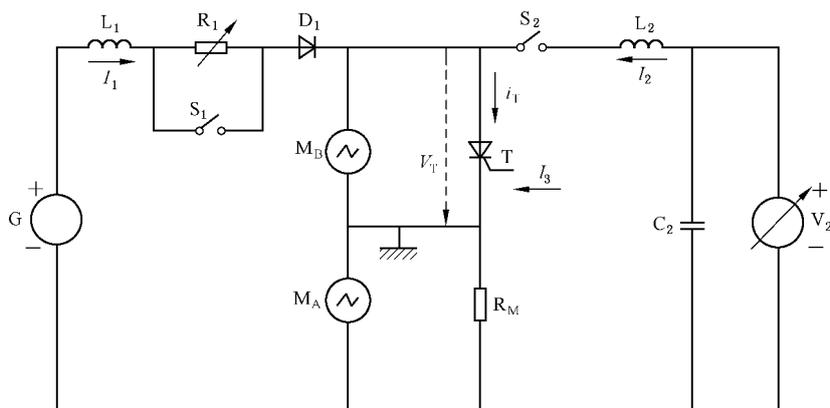


图 67 瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 的基本测试电路(方法 B)

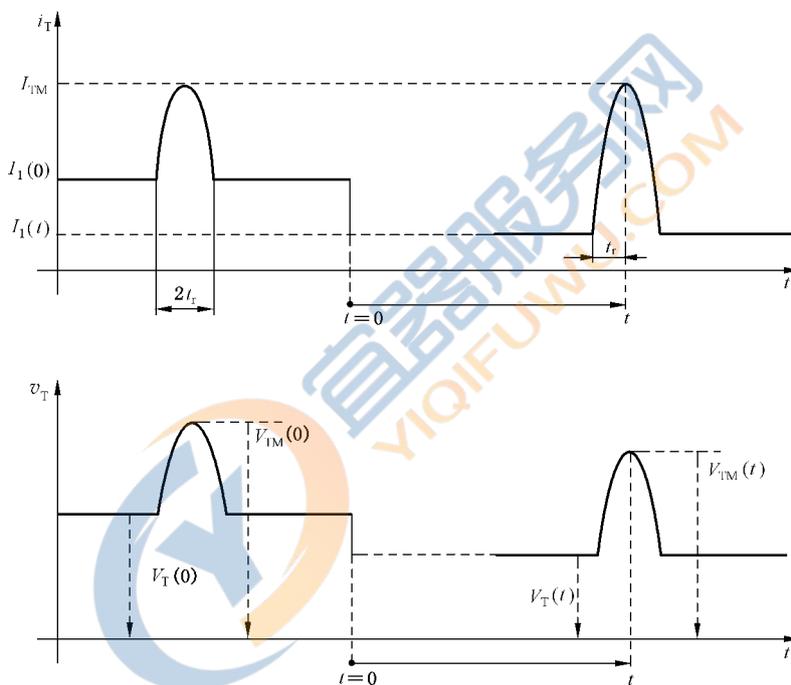


图 68 测量瞬态热阻抗的波形(方法 B)

电路说明和要求:

- T —— 受试晶闸管;
- C_2 —— 提供正弦波基准电流脉冲的电容器(还见 L_2);
- D_1 —— 隔离二极管;
- G —— 电流 I_1 的电流发生器,加热期间产生 $I_1(0)$,冷却期间产生 $I_1(t)$;
- I_3 —— 保持通态的触发电流;
- L_1 —— 阻断基准电流脉冲的电感器;
- L_2 —— 与 C_2 共同决定基准电流脉冲持续时间($2t_r$)的电感器, $2t_r = \pi \sqrt{L_2 \times C_2}$;
- M_A —— 测量加热电流 I_1 和基准电流 I_{TM} 的仪表, I_{TM} 是基准电流脉冲期间 I_T 的峰值;
- M_B —— 测量加热电流 I_1 的通态电压 V_T 和基准电流脉冲产生的峰值电压 V_{TM} 的仪表;
- R_M —— 校准过的电流测量无感电阻器;
- R_1 —— 调整 $I_1(t)$ 的电阻器;

- S₁ —— 电子开关(如 GTO)；
- S₂ —— 电子开关(如晶闸管)；
- V₂ —— 在基准电流脉冲期间，设定峰值电流 I_{TM} 的电压源。

注意事项：

一般，基准电流脉冲持续时间 2t_r 应在 1 ms 范围，以使其在其峰值 I_{TM} 时建立受试晶闸管 T 内电荷载流子的平衡。由于正弦波从较低的电流开始，间隔时间 t_r 对大功率晶闸管也足够长。

为获得最佳灵敏度(mV/°C)，基准电流脉冲的峰值 I_{TM} 应是 3 倍~5 倍受试晶闸管额定通态电流。

测量程序：

受试晶闸管的安装应使基准点温度能充分稳定，并能按 9.2.1 要求测量。

按 9.2.4.1 的要求制作校准曲线。预加负载电流 I_r^{*} 应具有和以后冷却期间通态电流 I₁(t) 相同的值。

准备测量：断开开关 S₂，调整加热期间 I₁(0) 和冷却期间 I₁(t) 为规定值。首先，闭合开关 S₁，用可调发生器 G 调整 I₁ 为 I₁(0) 值。然后断开开关 S₁，用可变电阻器 R₁ 调整 I₁ 为 I₁(t) 值。

测量：闭合开关 S₁，施加 I₁(0)，达到热平衡后，记录实际值 I₁(0)、对应的通态电压 V_T(0)、峰值电压 V_{TM}(0) 和基准点温度 T_r(0)。

在时间 t=0 时，断开开关 S₁，急剧降低 I₁ 至 I₁(t) 值。在该相同的时间提高 V₂，使再次达到固定的基准测量电流 I_{TM}，接着测量 V_{TM}(t)。在 t=t_r 时闭合开关 S₂，记录在时间 t 时 I_{TM} 的峰值电压 V_{TM}(t) 和 T_r(t)，然后测量 I₁(t) 和 V_T(t) 的实际值。

如基准电流脉冲周期性的发热可忽略，则冷却期间的周期性记录是可能的。

为计算 Z_{th}(t)，对应于测量值 V_{TM}(0) 和 V_r^{*}(t) 的 T_r(0) 和 T_r^{*}(t) 值从校准曲线上查取。

瞬态热阻抗由式(47)计算。计算时：P(0)=I₁(0)×V_T(0)，P(t)=I₁(t)×V_T(t)。

ε 的意义见 9.2.4.1 的式(31)和式(34)，大多数情况 ε 可近似为零。

9.2.5 方法 C(仅用于 GTO 晶闸管)

9.2.5.1 校准曲线

校准曲线基于 GTO 晶闸管的断态特性，它表示在基准门极脉冲电流 I_g^{*} 时的门极雪崩击穿电压 V_{GK}^{*} 与等效结温 T_j^{*} 的函数关系。断态时，T_j^{*} 等于基准点温度 T_r^{*}，并由外部改变 T_r^{*} 而变化 T_j^{*}。

为保持 GTO 晶闸管完全导通，基准电流脉冲的峰值应依据 GTO 晶闸管的尺寸和结构选取，其持续时间和重复频率的选取应使 GTO 晶闸管内不产生明显的温升。

9.2.5.2 热阻(R_{th})

目的：

测量门极关断晶闸管等效结和基准点间的热阻。

方法原理：

在损耗功率分别为 P 和零而产生相同结温的不同冷却条件下，测量基准点温度 T_r(1) 和 T_r(2)，热阻可由式(49)计算。用基准脉冲电流时的门极雪崩电压检查达到相同的结温。

$$R_{th} = \frac{T_r(2) - T_r(1)}{P} \dots\dots\dots (49)$$

基本电路图和波形：

电路和波形如图 69 和图 70 所示。

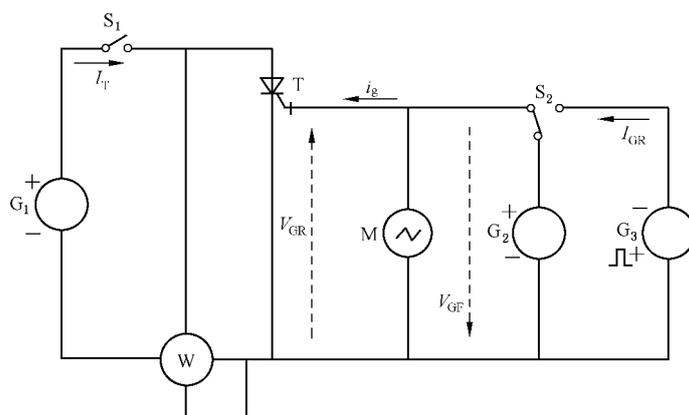
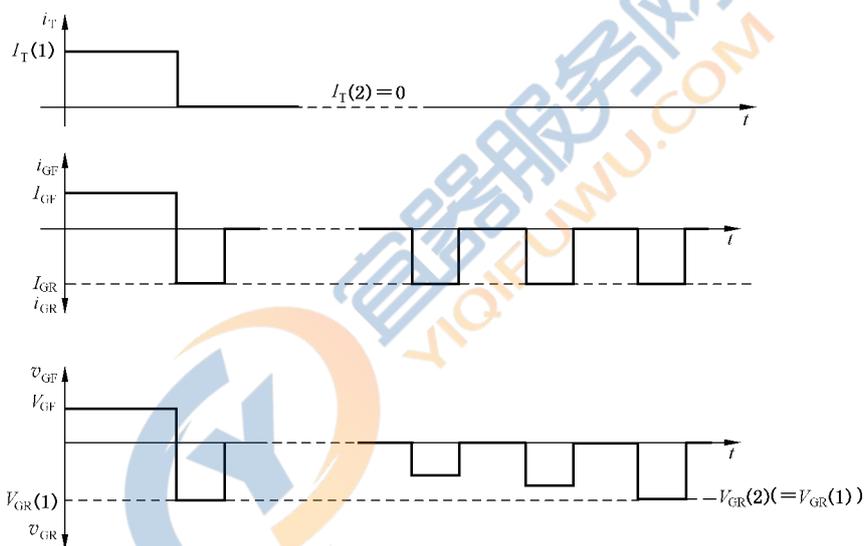
图 69 热阻 R_{th} 的基本测试电路(方法 C)

图 70 测量热阻的波形(方法 C)

电路说明和要求：

T —— 受试晶闸管；

G₁ —— 加热电流 (I_T) 发生器；G₂ —— 门极电流发生器；G₃ —— 恒定电流脉冲发生器； I_T —— 在 T 的结中产生损耗功率 P 的加热电流；S₁ —— 切断加热电流 I_T 的电子开关；S₂ —— 将门极从发生器 G₂ 到 G₃ 转换的电子开关；M —— 测量 V_{GR} 的仪表；W —— 显示 GTO 晶闸管由加热电流 I_T 产生损耗功率 P 的瓦特表。**注意事项：**

在基准电流脉冲期间，等效结温应不显著上升，见 9.2.5.1。

测量程序：

受试 GTO 晶闸管的安装应使得基准点温度能充分地稳定，并能按 9.2.1 要求测量。

测量分三步进行：

- a) 基准点温度保持在一个较低值 $T_r(1)$ 。接通电流 $I_T(1)$ ，功率 $P(1)$ 加热结至达到热平衡，记录 $T_r(1)$ 和 $P(1)$ ；
- b) 断开开关 S_1 ，切断电流 $I_T(I_T(2)=0)$ ，同时开关 S_2 将门极从 G_2 转换到 G_3 。断开开关 S_1 后紧接测量雪崩电压 $V_{GR}(1)$ ；
- c) 提高基准点温度至雪崩电压达到前项的相同值 ($V_{GR}(2)=V_{GR}(1)$)，记录基准点温度 $T_r(2)$ 。热阻用式(50)计算：

$$R_{th} = \frac{T_r(2) - T_r(1)}{P(1)} \dots\dots\dots (50)$$

9.2.5.3 瞬态热阻抗 ($Z_{th}(t)$)

目的：

测量门极关断晶闸管等效结和基准点间的瞬态热阻抗。

方法原理：

施加加热电流并建立热平衡后，记录器件的损耗功率。然后切断加热电流，同时记录作为时间的函数的基准脉冲电流时的门极雪崩电压和基准点温度。

利用校准曲线，将记录的雪崩电压值转换为对应的等效结温值，并由此计算瞬态热阻抗。

基本电路图和波形：

电路和波形如图 71 和图 72 所示。

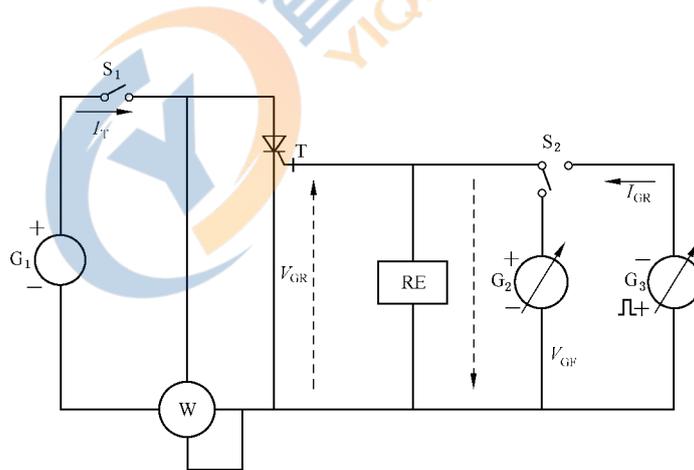


图 71 瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 的基本测试电路(方法 C)

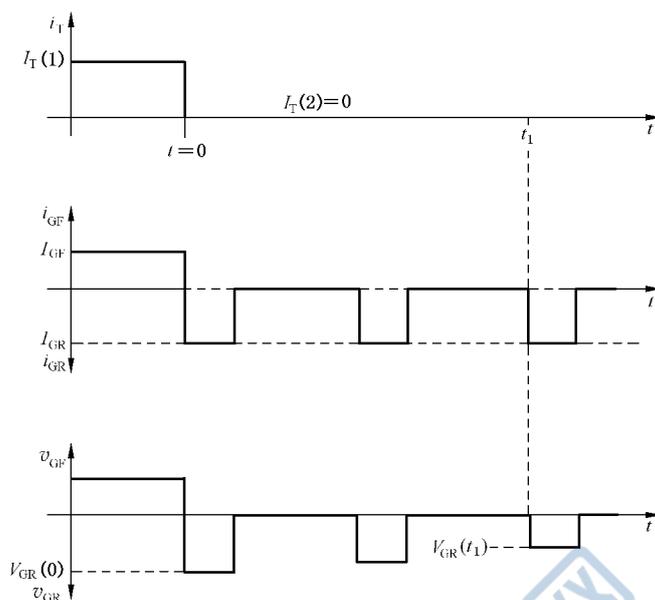


图 72 测量 GTO 晶闸管瞬态热阻抗的波形(方法 C)

电路说明和要求：

- T ——受试晶闸管；
- G₁ ——加热电流(I_T)发生器；
- G₂ ——门极电流发生器；
- G₃ ——恒定电流脉冲发生器；
- I_T ——在 T 的结中产生损耗功率 P 的加热电流；
- S₁ ——切断加热电流 I_T 的电子开关；
- S₂ ——将门极从发生器 G₂ 转换到 G₃ 的电子开关；
- RE ——记录设备,如记录随时间变化的基准脉冲电流的门极雪崩电压 V_{GR} 的记录仪；
- W ——显示 GTO 晶闸管由加热电流 I_T 产生损耗功率 P 的瓦特表。

注意事项：

在基准电流脉冲期间,等效结温应不显著上升,见 9.2.5.1。

测量程序：

受试 GTO 晶闸管的安装应使得基准点温度能充分稳定,并能按 9.2.1 要求测量。

校准曲线按 9.2.5.1 的要求制作。

测量：

施加在受试 GTO 晶闸管中产生损耗功率 $P(1)$ 的负载电流 $I_T(1)$,达到热平衡后,记录基准点温度 $T_r(1)$ 。

在时间 $t=0$ 时,用断开开关 S₁ 切断加热电流 I_T ,在损耗功率为零时开始冷却周期。同时用开关 S₁、S₂ 将门极从 G₂ 转换到 G₃。紧接断开开关 S₁ 后,测量雪崩电压 $V_{GR}(0)$ 。

在时间 t_1 时,同时记录雪崩电压 $V_{GR}(t_1)$ 和基准点温度 $T_r(t_1)$ 。如基准脉冲电流周期性的发热可忽略,则冷却期间周期性的记录是可能的。

为计算瞬态热阻抗,利用校准曲线,将 $V_{GR}(0)$ 和 $V_{GR}(t)$ 的记录值变换为对应的 $T_j^*(0)$ 和 $T_j^*(t)$ 值。

瞬态热阻抗按式(51)计算[参见 9.2.4.1 的式(47)]:

$$Z_{th(j-r)}(t_1) = \frac{[T_j^*(0) - T_j^*(t_1)] - [T_r(0) - T_r(t_1)]}{P(1)} \dots\dots\dots (51)$$

9.2.6 方法 D(热流法)

测量平板形晶闸管的分热阻 $R_{th(j-c)A}$ 和 $R_{th(j-c)K}$ 的方法

目的:

分别测量平板形晶闸管等效结和阳极侧间的分热阻 $R_{th(j-c)A}$ 及等效结和阴极侧间的分热阻 $R_{th(j-c)K}$ 。

方法原理:

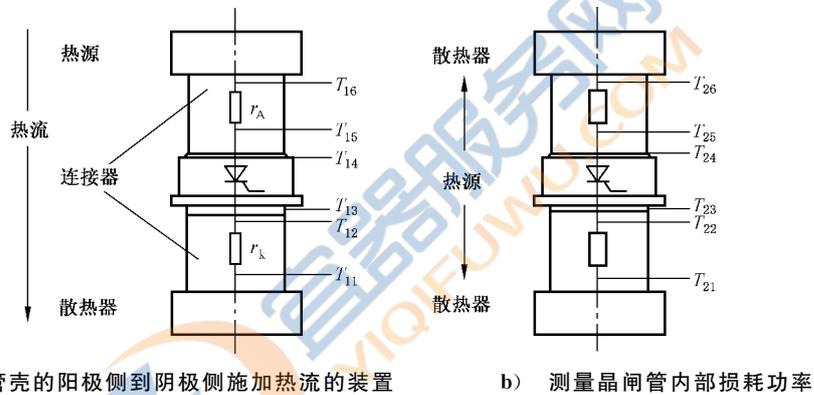
a) 利用已校准的热阻器,分别测量从平板形管壳的阳极侧和阴极侧到相应散热器的热流。热阻器[图 73a)中的 r_A 和 r_K]插接在受试晶闸管的接触金属板和散热器之间。

b) 分两步测量两个分热阻:

第一步,由外部施加从管壳阳极侧到阴极侧的热流,测量串联热阻 $R_S = R_{th(j-c)A} + R_{th(j-c)K}$ [图 73a)];

第二步,测量受试晶闸管内部损耗功率[图 73b)]。

测量分流到阳极侧和阴极侧的功率,由此和已知的 R_S 值计算两个分热阻。



a) 从管壳的阳极侧到阴极侧加热流的装置

b) 测量晶闸管内部损耗功率

说明:

r_A 和 r_K ——已校准的热阻器。

图 73 校准和测量装置(热流法)

r_A 和 r_K 的校准:

原则上, r_A 和 r_K 能按式(52)计算:

$$r_A \text{ (或 } r_K) = \frac{4d}{\pi \times \lambda \times D^2} \dots\dots\dots (52)$$

式中:

D ——圆柱形连接器的直径,单位为厘米(cm);

d ——热敏元件安装点间的轴向距离,单位为厘米(cm);

λ ——连接器的材料热导率,单位为瓦特每厘米开尔文[W/(cm·K)]。

但是由于下述原因,使用式(52)仅是估算:

——热常数 λ 不总是足够精确地知道,如工业铜有不同的种类;

—— d 值、 D 值和热敏元件的灵敏度有未知的公差。

因此,推荐连接器的精确校准。

校准采用图 73b)所示装置完成。采用对称的电热元件作为热源,测量电热元件的总电功率 P 。两个连接器以及两个散热器的安置应相同,以使在两侧耗散的功率相等。根据测量的温度差,由式(53)和式(54)计算 r_A 和 r_K :

$$r_A = \frac{2 \times (T_{25} - T_{26})}{P} \dots\dots\dots (53)$$

$$r_K = \frac{2 \times (T_{22} - T_{21})}{P} \dots\dots\dots (54)$$

如采用半导体器件作为发热元件,则应是热对称的器件,以避免不对称热流导致复杂化。对比检查:翻转加热元件,用上述相同的方法再次校准 r_A 和 r_K ,如两次结果不同,则应取两次测量的平均值。

在校准和测量期间,发热器件和受试器件应具有良好的热绝缘,以使对环境空气的损耗可以忽略(至少与校准、测量时的损耗同一数量级)。

连接器可采用铜的,也可采用铍-铜的,由于后者强度好和具有较低的热导率,更为有利。

器件阳极侧和阴极侧温度的测量,最好采用表面测量的热偶或电阻温度计,用弹簧使其与受试器件接触板中心位置接触。

另一方法是测量连接器工作面中心下方规定的小距离处的温度。在此方法中,该距离产生了附加热阻和表面接触热阻,并包含在分热阻的测量值中。则应从测量值中减去附加热阻的典型值,予以修正。

当重复试验时,连接器接触板的质量应周期检查。

注意事项:

校准 r_A 和 r_K 时,应按上述要求良好的热绝缘。

测量程序:

测量分两步进行:

- a) 利用图 73a) 示意的加热和冷却系统,保持流过受试器件的热流。达到热平衡后,记录两个连接器上的温度 T_{11} 、 T_{12} 、 T_{13} 、 T_{14} 、 T_{15} 和 T_{16} 。则流经阳极侧和阴极侧的热流能用已校准的热阻 r_A 和 r_K 按式(55)和式(56)计算:

$$P_{A1} = (T_{16} - T_{15})/r_A \dots\dots\dots (55)$$

$$P_{K1} = (T_{12} - T_{11})/r_K \dots\dots\dots (56)$$

由于 r_A 和 r_K 位置间的小损耗, P_{A1} 将略大于 P_{K1} 。串联热阻由式(57)表示:

$$R_S = R_{th(j-c)A} + R_{th(j-c)K} \dots\dots\dots (57)$$

根据 P_{A1} 和 P_{K1} 的平均值,由式(58)计算串联热阻:

$$R_S = 2 \times \frac{T_{14} - T_{13}}{P_{A1} + P_{K1}} \dots\dots\dots (58)$$

- b) 采用直流电流通过受试器件的方法,在晶闸管两侧产生热流[见图 73b)]。达到热平衡后,记录两个连接器的温度 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 T_{24} 、 T_{25} 和 T_{26} 。

按式(59)和式(60)计算两侧的热流:

$$P_{A2} = (T_{25} - T_{26})/r_A \dots\dots\dots (59)$$

$$P_{K2} = (T_{22} - T_{21})/r_K \dots\dots\dots (60)$$

根据 P_{A2} 、 P_{K2} 、 R_S 和 T_{24} 、 T_{23} ,按式(61)计算等效结温,按式(62)和式(63)计算两个分热阻:

$$T_j = \frac{P_{A2} \times P_{K2} \times R_S + T_{23} \times P_{A2} + T_{24} \times P_{K2}}{P_{A2} + P_{K2}} \dots\dots\dots (61)$$

$$R_{th(j-c)A} = (T_j - T_{24})/P_{A2} \dots\dots\dots (62)$$

$$R_{th(j-c)K} = (T_j - T_{23})/P_{K2} \dots\dots\dots (63)$$

并联热阻按式(64)计算:

$$R_{th(j-c)} = \frac{R_{th(j-c)A} \times R_{th(j-c)K}}{R_{th(j-c)A} + R_{th(j-c)K}} \dots\dots\dots (64)$$

此值仅当两侧散热器温度近似相等时才有实用意义。

9.3 额定值(极限值)的检验方法

9.3.1 反向不重复峰值电压(V_{RSM})

目的:

在规定条件下,检验晶闸管的反向不重复峰值电压额定值。

电路图:

电路如图 74 所示。

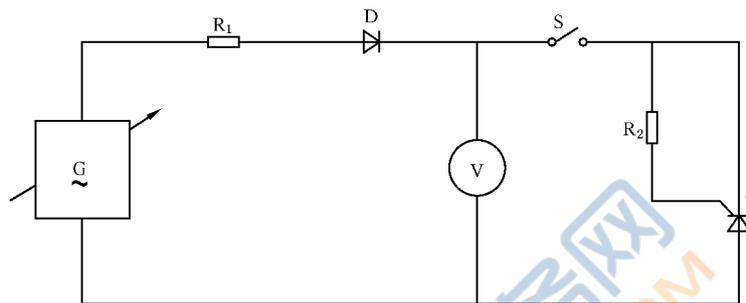


图 74 反向不重复峰值电压的测试电路

电路说明和要求:

T——受试晶闸管;

D——提供负半周期的二极管,只用于试验晶闸管的反向特性;

G——交流电压源;

S——在反向半周期对受试晶闸管施加电源电压的机电开关或电子开关(导通角近似 180°);

V——峰值读数电压表。

试验程序:

设定偏置条件为零,将受试晶闸管装进试验管座。

断开开关 S,增加交流电源电压至反向不重复峰值电压的规定值。

检查规定的温度条件。

在反向半周期期间闭合开关 S(导通角近似 180°),施加规定的反向不重复峰值电压。

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已完全消失。

由试验后的测量,即得到晶闸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) 门极-阴极电阻器 R_2 ;
- c) 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a 、 T_c 或 T_r);
- d) 半周期脉冲的持续时间 t_p ;
- e) 脉冲次数和重复率;
- f) 试验后的测量极限。

9.3.2 断态不重复峰值电压(V_{DSM})

目的:

在规定条件下,检验晶闸管的断态不重复峰值电压额定值。

电路图：

电路如图 75 所示。

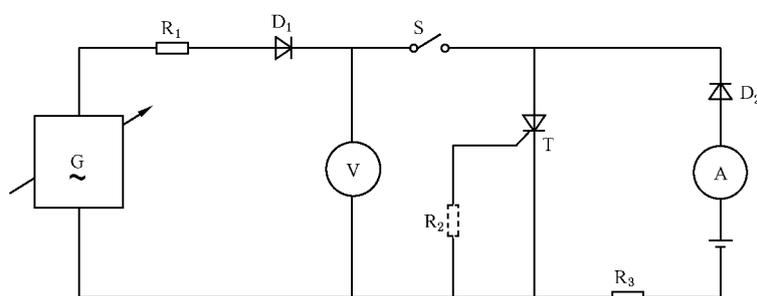


图 75 断态不重复峰值电压的测试电路

电路说明和要求：

T —— 受试晶闸管。

D₁ —— 提供正半周期的二极管，只用于试验晶闸管的断态特性。

G —— 交流电压源。

R₁, R₃ —— 保护电阻器。

注 1: R₂ 仅规定时使用。

S —— 在断态半周期对受试晶闸管施加电源电压的机电开关或电子开关(导通角近似 180°)。

V —— 峰值读数电压表。

低压直流电源、电流表 A 和限流电阻器 R₃ 用于验证晶闸管未转折、未进入通态。电流表和直流电源可用显示仪表(如示波器)代替。

试验程序：

交流电源设定为零，将受试晶闸管装进试验管座。

断开开关 S，增加交流电源电压至断态不重复峰值电压的规定值。

检查规定的温度条件。

在断态半周期期间闭合开关 S(导通角近似 180°)，即可对受试晶闸管施加规定的断态不重复峰值电压。

注 2: 重复率应使得一个脉冲的热效应在下一个脉冲到达之前已完全消失。

由试验后的测量，即得到晶闸管承受断态不重复峰值电压额定值能力的验证。

规定下列条件的数值：

- 断态不重复峰值电压 V_{DSM} ；
- 门极-阴极电阻器 R₂；
- 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a 、 T_c 或 T_r)；
- 半周期脉冲的持续时间 t_p ；
- 脉冲次数和重复率；
- 试验后的测量极限。

9.3.3 通态浪涌电流(I_{TSM})

目的：

在规定条件下，检验晶闸管的通态(不重复)浪涌电流额定值。

电路图：

电路如图 76 所示。

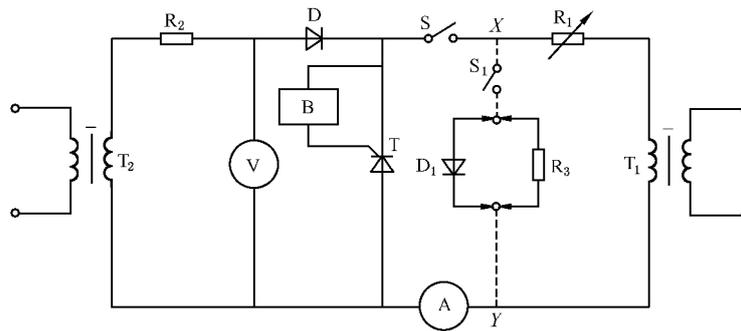


图 76 通态(不重复)浪涌电流的测试电路

电路说明和要求：

T —— 受试晶闸管。

A —— 峰值读数仪表(如电流表或示波器)。

B —— 门极偏置电路。

D —— 阻断变压器 T_2 提供的正向电压的二极管。

R_1 —— 设定浪涌电流的电阻器,其电阻值应大于二极管 D_1 的正向电阻(见下面注)。

R_2 —— 保护电阻器,其电阻值应尽可能的小。

S —— 在通态(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 S 对通态(浪涌)半周期供电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 对反向半周期供电的小电流高电压变压器,若此变压器由一独立电源馈电,则其相位应与 T_1 馈电的相位相同,其电压波形应基本上是正弦半波。

V —— 峰值读数仪表(如电压表或示波器)。

注:如需要,在 X 点和 Y 点之间可接入二极管 D_1 及其串联的开关 S_1 ,或接入电阻器 R_3 及其串联的开关 S_1 。

这些电路并非强制要求。 D_1 为均流二极管,其正向电阻近似等于受试晶闸管的通态电阻。如采用电阻器 R_3 ,其电阻值也应与受试晶闸管的通态电阻相同。

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 180° 。

试验程序：

设定电压源和电流源为零。

按其特性标志,将晶闸管装进试验管座,并检查其温度条件。

峰值读数仪表 V 上显示的反向峰值电压调至规定值。

调整 R_1 ,使峰值读数仪表 A 上显示的通态浪涌电流至规定值。

按施加通态浪涌电流的规定次数触发受试晶闸管。在反向半周期间应注意避免施加触发信号。

由试验后的测量,即得到晶闸管承受浪涌电流额定值能力的验证。

规定下列条件的数值：

- a) 反向峰值电压 V_{RM} ；
- b) 通态(不重复)浪涌电流 I_{TSM} ；
- c) 反向电压源的最大阻抗；
- d) 门极偏置条件:电源电压和电源电阻；
- e) 每次浪涌的周波数,浪涌次数和重复率；
- f) 环境温度、管壳温度或基准点温度(T_a 、 T_c 或 T_r)；
- g) 试验后的测量极限。

G ——低阻抗直流电源。

L_1, C_1 ——决定通态电流正弦半波脉冲持续时间 t_p 和幅值 I_{TRM} 的谐振电路[见式(65)和式(66)]:

$$t_p = \pi \times \sqrt{L_1 \times C_1} \quad \dots\dots\dots (65)$$

$$I_{TRM} = V_{DRM} / \sqrt{L_1 / C_1} \quad \dots\dots\dots (66)$$

L_2, C_1 ——设定再加断态电压上升率的谐振电路(包括 R_1 和 C_4)。

注 1: 可能最短的维持关断间隔由式(67)给出:

$$t_{H(\min)} = \frac{\pi}{2} \times \sqrt{L_2 \times C_1} \quad \dots\dots\dots (67)$$

注 2: 受试晶闸管两端的断态电压 V_{DRM} 等于 C_1 两端的峰值电压, 可高达 10 倍直流电源电压, 并决定于电路元件。应注意不要超过 V_{DRM} 的规定值。

R_1, C_4 ——保护受试晶闸管 T 的阻尼网络。可采用类似的 RC 阻尼网络保护晶闸管 T_1 。

T_1 ——辅助晶闸管, 通常要求 T_1 具有比受试晶闸管频率高很多的电流额定值。

R_2 ——测量电流的电阻器。

触发 T_1 由直流电源对 C_1 充电。 T_1 关断后触发 T, C_1 通过 L_1 和 T 放电, 并产生持续时间 t_p 的正弦半波电流脉冲。然后 C_1 反向再充电, 经适当时间后, 再次触发 T_1 , 使晶闸管 T 两端的电压以规定的 dv/dt 从负电位到正电位变化。调整该时间以得到要求的维持关断间隔。在同一时间, 由 G 对 C_1 两端的电压进一步充电并改变极性。重复这个周期使 C_1 两端的电压升高到要求的电位(约 10 倍直流电源电压)。

9.3.4.1.2 扩展电路

电路图:

电路如图 78 所示。

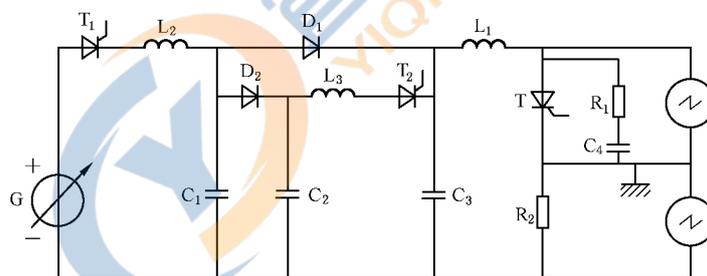


图 78 有反向电压的正弦波通态电流的扩展测试电路

电路说明和要求:

T 是受试晶闸管。

除式(68)外, 试验波形和要求与图 77 基本电路相同:

$$t_{H(\min)} = \frac{\pi}{2} \times \sqrt{L_3 \times C_3} \quad \dots\dots\dots (68)$$

由于增加了 C_2, C_3, T_2, L_3, D_1 和 D_2 , 试验电路更灵活, 并能设定给出较高的 dv/dt , 从而可试验具有较短电路换向关断时间的晶闸管。 C_1 和 C_2 的容量至少是 C_3 容量的 10 倍。 D_1 和 D_2 的作用是消除 C_1 对 C_2 和 C_3 的影响。

直流电源通过 T_1 和 T_2 对 C_1, C_2 和 C_3 充电。当触发 T 时, C_1 和 C_3 通过 L_1 和 T 放电, 产生正弦半波电流且反向再充电。经适当的时间后, 触发 T_2 , 由于电荷从 C_2 转移到 C_3 ($C_2 \gg C_3$) 便引起 T 的电压从反向到正向的上升。调整该时间以得到规定的维持关断间隔(t_H)。在下一个试验周期, 触发 T_1 , 直流电流对 C_1, C_2 和 C_3 再次充电。由试验周期的重复, 使 C_1, C_2 和 C_3 的电压升高至约 10 倍直流电源电压。

试验程序：

设定基准点温度为规定值。

调整晶闸管 T 和 T₁ 的触发电源，以给出规定的重复频率(f_0)和维持关断间隔(t_H)。调整电源 G 获得规定的通态电流。

如受试晶闸管不能承受规定的断态重复峰值电压，则受试晶闸管试验失败。

规定下列条件的数值：

- a) 基准点温度(T_r)；
- b) 重复频率(f_0)；
- c) 断态电压(V_{DRM})；
- d) 反向电压,适用时；
- e) 通态电流脉冲持续时间和幅值(t_p, I_{TRM})；
- f) 再加断态电压上升率(dv/dt)；
- g) 维持关断间隔(t_H) (应等于规定的最长电路换向关断时间)；
- h) 触发电路条件；
- i) RC 阻尼网络(R_1, C_1)。

9.3.4.2 抑制反向电压的正弦波通态电流**9.3.4.2.1 基本电路****电路图和试验波形：**

电路和波形如图 79 所示。

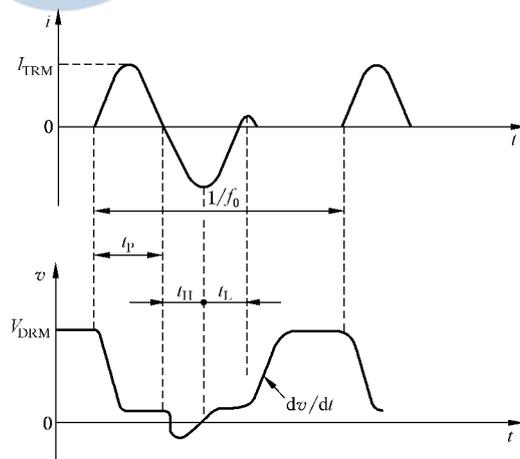
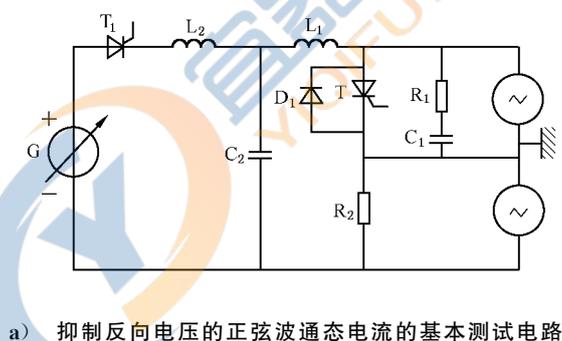


图 79 抑制反向电压的正弦波通态电流的基本测试电路和试验波形

注 1: 由于 T 和 D₁ 回路的电感, 晶闸管两端的电压在时间 t_L 可能是正的。其电感应保持为最小, 以尽可能地降低该电压。电流波形的负的部分表示二极管 D₁ 的电流。

电路说明和要求:

T —— 受试晶闸管。

G —— 低阻直流电源。

L₁, C₂ —— 决定通态电流正弦半波脉冲持续时间 t_p 和幅值 I_{TRM} 以及维持关断间隔 t_H 的谐振电路 [见式(69)和式(70)]:

$$t_p = \pi \times \sqrt{L_1 \times C_2} \dots\dots\dots (69)$$

$$I_{TRM} = V_{DRM} / \sqrt{L_1 / C_2} \dots\dots\dots (70)$$

应调整 C₂ 的值, 以给出所要求的维持关断间隔值在式(71)和式(72)之间:

$$t_{H(min)} = \frac{\pi}{2} \times \sqrt{L_1 \times C_2} \dots\dots\dots (71)$$

$$t_{H(max)} = \pi \times \sqrt{L_1 \times C_2} \dots\dots\dots (72)$$

注 2: V_{DRM} 近似等于直流电源(G)的电压。

R₁, C₁ —— 设定规定的再加断态电压上升率的阻尼网络。可采用类似的网络保护 T₁。

R₂ —— 测量电流的电阻器。

D₁ —— 抑制反向电压的二极管。

T₁ —— 辅助晶闸管。

L₂ —— 限制 T₁ 的 di/dt 的电感器。

用触发 T₁ 对 C₂ 充电。T₁ 关断后, 触发 T。C₂ 通过 L₁ 放电并产生正弦半波电流。当 T 恢复后, 能量通过 D₁ 返回到 C₂ 上, C₂ 中电荷的有效损耗用触发 T₁ 由直流电源补充。

9.3.4.2.2 扩展电路

电路图:

电路如图 80 所示。

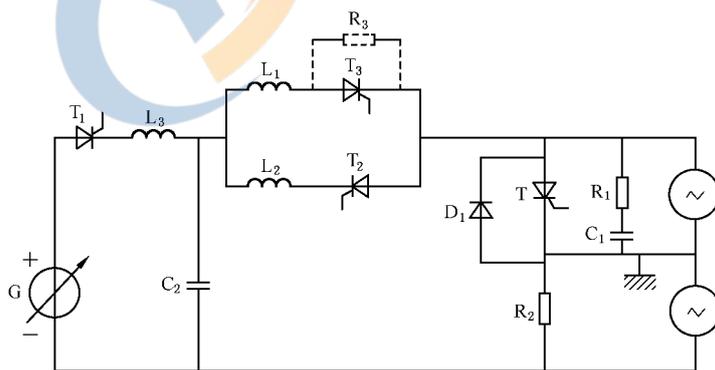


图 80 抑制反向电压的正弦波通态电流的扩展测试电路

电路说明和要求:

T 是受试晶闸管。

除式(73)外, 试验波形和要求与图 79 基本电路相同:

$$t_{H(min)} = \frac{\pi}{2} \times \sqrt{L_2 \times C_2} \dots\dots\dots (73)$$

R_3 是旁路电阻器(如要求)。

T_3 和 T 同一时间触发。

由于增加了 L_2 、 T_2 和 T_3 , 试验电路更灵活。

在电流脉冲终点和触发 T_2 之间引入一个延迟时间, 并采用不同于 L_1 的电感 L_2 , 可使维持关断间隔 (t_H) 的变化不依赖于脉冲持续时间 (t_p)。

推荐使用快开通二极管 D_1 以减小受试晶闸管 (T) 的反向恢复损耗功率。

试验程序:

设定温度为规定值。

调整晶闸管 T 和 T_1 的触发电源, 给出规定的重复频率 (f_0) 和维持关断间隔 (t_H)。调整电源 G 获得规定的通态电流。

如受试晶闸管不能承受规定的断态重复峰值电压, 则受试晶闸管试验失败。

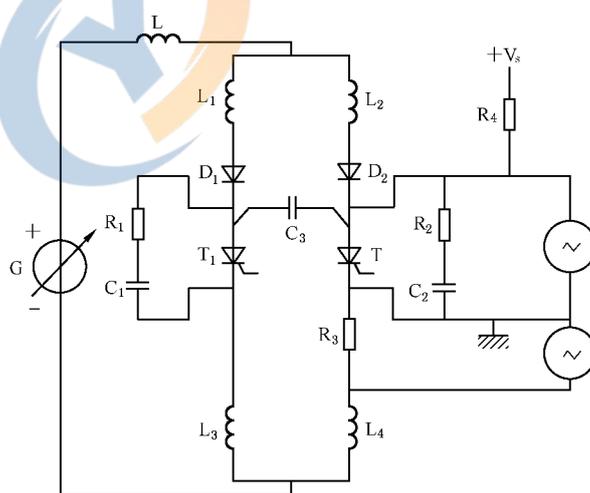
规定下列条件的数值:

- 基准点温度 (T_r);
- 重复频率 (f_0);
- 断态电压 (V_{DRM});
- 通态电流脉冲持续时间和幅值 (t_p, I_{TRM});
- 再加断态电压上升率 (dv/dt);
- 维持关断间隔 (t_H) (应等于规定的最长电路换向关断时间);
- 触发电路条件;
- RC 阻尼网络 (R_1, C_1)。

9.3.4.3 施加反向电压的梯形波通态电流

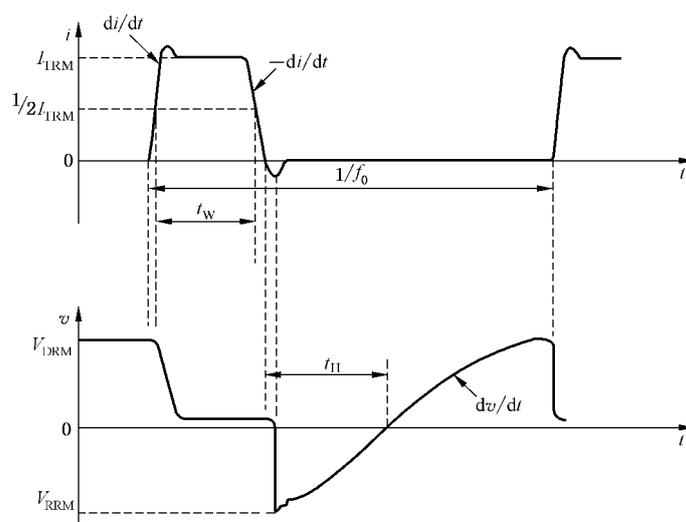
电路图和试验波形:

电路和波形如图 81 所示。



a) 有反向电压的梯形波通态电流的基本测试电路

图 81 有反向电压的梯形波通态电流的基本测试电路和试验波形



b) 有反向电压的梯形波通态电流的试验波形

图 81 (续)

电路说明和要求：

- T —— 受试晶闸管；
- G, L —— 大电流直流电源；
- V_S —— 高电压直流电源(为起动的目的,如要求)；
- C₃ —— 换向电容器；
- L₁, L₂ —— 决定维持关断间隔 t_H的电感器[有式(74)]：

$$t_H \approx \sqrt{C_3 \times (L_1 + L_2)} \quad \dots\dots\dots (74)$$

- L₃, L₄ —— 决定晶闸管通态电流上升率的电感器；
- D₁, D₂ —— 隔离二极管；
- T₁ —— 辅助晶闸管；
- R₁, C₁ } —— 保护晶闸管的阻尼网络；
- R₂, C₂ }
- R₃ —— 测量电流的电阻器或电流探头；
- R₄ —— 限制电流的电阻器。

晶闸管 T 和 T₁ 交替地导通电流。开始,触发 T₁,用电源 V_S 通过 R₄ 对 C₃ 充电至接近 V_{DRM} 的高电压。当触发 T 时,C₃ 上的电荷使 T₁ 反向偏置,并使它关断。然后通过 L₁ 的电流以相反方向对 C₃ 再次充电,直到触发 T₁,使 T 反向偏置并被关断。随后,通过 L₂ 和 D₂ 对 C₃ 充电,给出 T 两端电压的上升率 (dv/dt)。

利用重复的换向,使 L₁、L₂ 和 C₃ 的振荡回路产生逐步升高的电压,直至达到比电源 G 的电压高很多的电压。此后,可断开电源 V_S。近似有式(75)：

$$V_{DRM} = V_{RRM} = I_{TRM} \times \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C_3}} \quad \dots\dots\dots (75)$$

电感器 L 保证电路的恒定电流。

受试晶闸管的通态电流脉冲持续时间可由 T₁ 导通时间的改变而变化,而与重复频率无关,通态电流上升率近似为式(76)表示：

$$di/dt = \frac{V_{DRM}}{L_3 + L_4} \quad \dots\dots\dots (76)$$

试验程序：

设定温度为规定值。

电路说明和要求：

- T —— 受试晶闸管。
- G₁ —— 低阻抗直流电源：V₁。
- G₂ —— 直流电源：V₂ > V₁。
- G₃ —— 高阻抗直流电源：V₃ = V_{DRM}。
- C₁ —— 换向电容器。
- C₃ —— 电源 G₃ 的储能电容器。
- R₁, C₂ —— dv/dt 网络。
- D₁, D₂ —— 隔离二极管。

注 1：D₂ 的恢复时间应短于受试晶闸管的关断时间，而长于其恢复时间。

- D₃ —— 抑制反向电压的二极管；
- R₂ —— 测量电流的电阻器或电流探头；
- R₃ —— 保护电阻器，当受试晶闸管对再加电压失败时起保护作用；
- T₁ —— 换向电路充电用晶闸管；
- T₂ —— 换向电路放电用晶闸管；
- T₃ —— 再加正向电压用晶闸管；
- L₁ —— 换向电感器；
- L₂ —— 决定通态电流上升率 di/dt 的电感器，有式(77)~式(79)：

$$\pi \sqrt{L_1 \times C_1} > 2t_H \quad \dots\dots\dots (77)$$

$$dv/dt = V_3 / (R_1 \times C_2) \quad \dots\dots\dots (78)$$

$$-di/dt = V_2 / L_1 \quad \dots\dots\dots (79)$$

假定电路处于无信号状态，然后同时触发 T₁ 和 T。

单独调整的负载电流流经 G₁、L₂、D₁、D₂、T 及 R₂，同时对 C₁ 充电，其极性为通过 G₂、T₁、L₁、C₁、D₂、T 及 R₂ 的路径方向。当 C₁ 完全充电时，T₁ 停止导通。

此后，触发 T₂，负载电流分流到 G₁、L₂、D₁、C₁、L₁ 和 T₂ 的路径。C₁ 两端的电压以反向施加到 D₂ 两端，T 两端的电压由二极管 D₃ 抑制。

当 C₁ 以所示的相反极性充电时，L₁ 放电，T₂ 停止导通。

当触发 T₃ 时，由电源 G₃ 提供 C₃ 两端的初始电压施加到受试晶闸管和阻尼电路 R₁C₂ 上。

注 2：只要满足式(77)的条件，维持关断间隔将由 T₃ 的触发时间决定。

试验程序：

设定温度为规定值，接通触发电路。

用调整 G₁ 将正向电流幅值设定为低值，脉冲持续时间由 T₂ 的触发决定。

用 G₃ 设定再加正向电压的幅值，再加 dv/dt 由 R₁C₂ 决定。

设定维持关断间隔 t_H 为受试晶闸管电路换向关断时间的最大规定值，调整通态电流和工作频率为规定值。

如受试晶闸管不能承受规定的断态重复峰值电压，则受试晶闸管试验失败。

规定下列条件的数值：

- a) 基准点温度(T_r)；
- b) 重复频率(f₀)；
- c) 断态电压(V_{DRM})；
- d) 通态电流脉冲持续时间和幅值(t_w, I_{TRM})；
- e) 通态电流的上升率和下降率(di/dt, -di/dt)；
- f) 维持关断间隔(t_H) (应等于规定的最长电路换向关断时间)；

- g) 再加断态电压上升率(dv/dt);
- h) 触发电路条件。

9.3.5 通态电流临界上升率(di/dt)

目的:

在规定条件下,检验晶闸管的通态电流临界上升率额定值。

电路图:

电路如图 83 所示。

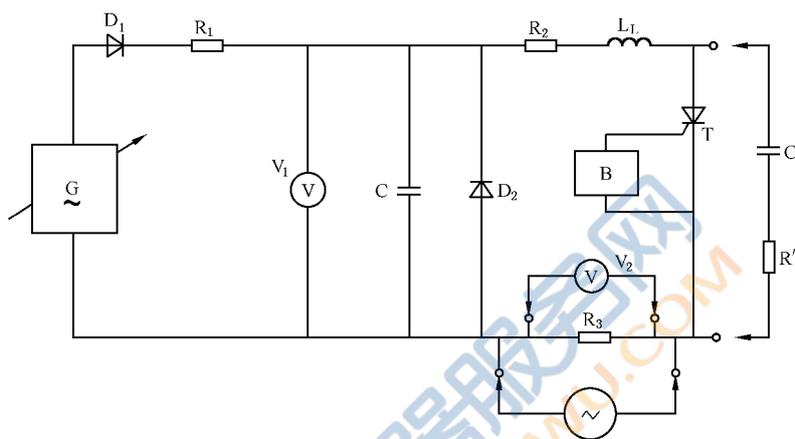


图 83 通态电流临界上升率的测试电路

电路说明和要求:

- T —— 受试晶闸管;
- B —— 门极触发电源;
- G —— 交流电压源;
- D₂ —— 保护受试晶闸管不受谐振效应可能产生的过度反向过压影响的二极管;
- R₁, D₁ —— 其选择,应使电容器 C 在每次工作前有时间完全充电;
- R₃ —— 校准过的电流测量无感电阻器;
- V₁ —— 高阻电压表;
- V₂ —— 峰值读数电压表。

为得到要求的受试晶闸管 T 的通态电流临界上升率,选择 R₂、C 和 L 的值与试验电压 V_{DM}、电流幅值 I_{TM} 和时间 t₁ 的近似关系以式(80)~式(82)给出:

$$C = 5.6 \times \frac{I_{TM} \times t_1}{V_{DM}} \dots\dots\dots (80)$$

$$L = 1.7 \times \frac{V_{DM} \times t_1}{I_{TM}} \dots\dots\dots (81)$$

$$R_2 = 0.55 \times \frac{V_{DM}}{I_{TM}} \dots\dots\dots (82)$$

式中:

- V_{DM} —— 断态电压;
- di/dt —— 由式(12)计算;
- t₁ —— 定义见图 84;

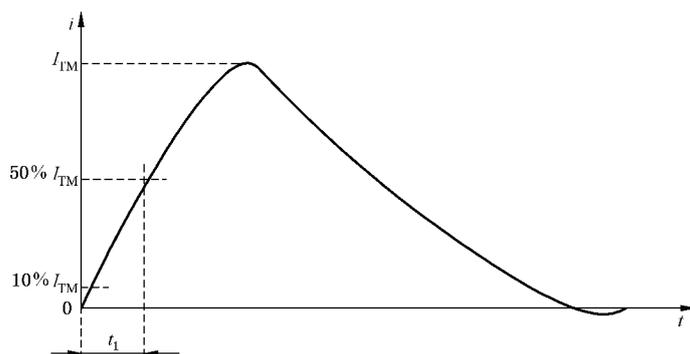


图 84 di/dt 额定值的通态电流波形

R_2 ——用于衰减振荡波形的电阻器。在大功率器件情况下, R_2 只能由电路元件的分布电阻组成, 此时, 假定可忽略 R_2 , 并可采用式(83)和式(84)。

注: 对于大功率器件, 略去 R_2 , 则 C 和 L 的选择值与试验电压 V_{DM} 、电流幅值 I_{TM} 和时间 t_1 的近似关系以式(83)和式(84)给出:

$$C = 1.91 \times \frac{I_{TM} \times t_1}{V_{DM}} \dots\dots\dots(83)$$

$$L = 1.91 \times \frac{V_{DM} \times t_1}{I_{TM}} \dots\dots\dots(84)$$

按受试晶闸管的应用选择 R' 和 C' , 适当时 R' 和 C' 可省略。

最后调整 L 和 C, 以确保电压表 V_2 上测得的通态峰值电流和示波器上测得的通态电流上升率 di/dt 符合规定。

推荐采用阻尼正弦波形作为通态电流波形, 如图 84 所示。

时间零点由连接试验电流 10% 和 50% 两点的直线与时间轴的交点确定。

采用这种波形确定 di/dt 数值的推荐方法按式(12)计算。这时:

$$t_1 \geq 1 \mu s;$$

$$I_{TM} \geq \text{通态平均电流额定值的两倍。}$$

试验程序:

设定交流电压源为零。应注意确保电容器 C 完全放电。将受试晶闸管装进试验管座, 并设定温度为规定值。

设定电源电压, 给出在电容器 C 完全充电时等于规定断态电压 V_{DM} (如电压表 V_1 所示) 的峰值电压。

触发受试晶闸管, 电容器 C 通过 L 和晶闸管放电。

重复率由门极触发电源控制, 并应和规定一致。应注意防止交流电压源负半周期出现门极触发脉冲。

由试验后的测量, 即得到晶闸管承受额定通态电流临界上升率能力的验证。

规定下列条件的数值:

- a) 通态电流上升率 di/dt ;
- b) 通态电流波形和峰值 I_{TM} (在规定的管壳温度或基准点温度条件下, 优先两倍额定最大通态平均电流);
- c) 断态电压 V_{DM} ;
- d) 管壳温度或基准点温度 (T_c 或 T_r);
- e) 重复率和脉冲次数;

- f) 门极触发电源特性；
- g) 试验后的测量极限。

9.3.6 管壳不破裂峰值电流

目的：

在规定条件下，检验晶闸管的管壳不破裂峰值电流额定值。

电路图和试验电流波形：

电路和波形如图 85 和图 86 所示。

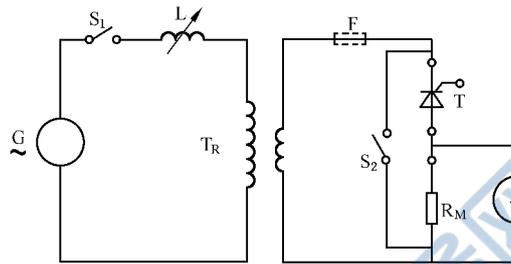


图 85 管壳不破裂峰值电流的测试电路

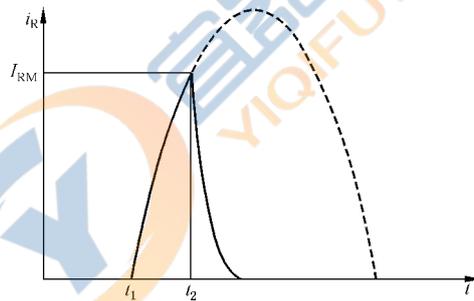


图 86 通过受试晶闸管的反向电流 i_R 波形

电路说明和要求：

- T —— 受试晶闸管；
- G —— 具有适当短路能力的交流系统；
- S_1, S_2 —— 能在电网电压周期的规定瞬间动作的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。

预处理和初始测量：

试验前，受试晶闸管应作初始损伤处理，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 $10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

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} 。

此外，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 I_{RM} ；
- c) 反向电流上升率，优先 $25 \text{ A}/\mu\text{s}$ ；
- d) 试验电流脉冲持续时间 t ；
- e) 门极开路。

试验后测量：

受试器件进行检漏试验，泄漏率应低于 $10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

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的小裂纹也没有等离子体逸出。

紧接电试验后，目检受试器件，应既无粒子脱落，也无器件外部熔化或燃烧的痕迹。

9.4 耐久性试验

一般要求：

适用于 GB/T 17573—1998 的第八篇的第 3 节的第 2 条。

特定要求：

9.4.1 耐久性试验表

对于反向阻断三极晶闸管，表 4 给出了供选择的各项耐久性试验。

9.4.2 耐久性试验条件

表 4 列出了试验条件和试验电路。有关规范应说明适用的试验。

9.4.3 接收试验的失效判据和判定失效的特性

表 3 列出了判定失效的特性、失效判据和测量条件。

注：应按表 3 列出的顺序测量各特性，因为由于其他测量的影响，可能全部或部分地掩盖一些失效机理引起的特性变化。

如试验期间晶闸管丧失规定的阻断能力，同样认为晶闸管失效。

9.4.4 可靠性试验判定失效的特性和失效判据

（待定）。

9.4.5 试验失误时的程序

当试验失误（如试验设备故障，或测量设备故障，或操作者的错误）造成器件失效时，应在数据记录中记入该失效并说明原因。

表 3 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 ^a	测量条件
I_R	$>2 \times \text{USL}$	测试 I_R 规定的最高电压 $V_R (=V_{RRM})$ 和最高温度
I_D	$>2 \times \text{USL}$	测试 I_D 规定的最高电压 $V_D (=V_{DRM})$ 和最高温度
I_{GT}	$>1.1 \times \text{USL}$	测试 I_{GT} 规定的最低电压 V_D
V_T	$>1.1 \times \text{USL}$	测试 V_T 规定的最大电流 I_T
^a USL 为规范的上限值		

表 4 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, 电压峰值 = V_{RWM} 或 V_{DWM}	(见 GB/T 17573—1998 第 VIII 篇, 第 3 节的 2.1.3)		R_G 为门极电阻器 R_L 为负载电阻器 ^a
高温交流 阻断	—	正弦波 50 Hz 或 60 Hz, 电压峰值 = V_{RWM} 或 V_{DWM} , 两者取较低的	额定 V_{RWM} 和 V_{DWM} 的最高温度		R_S 为限流电阻器 R_G 为门极电阻器
热循环负载 试验	I_T (正弦半波, 50 Hz 或 60 Hz) 须足够大, 以加热 器件至 T_{jmax} ^b	取决于 I_T 和 R_L	^b		R_L 应近似等于受试晶闸管的有效电阻 R_G 为门极电阻器
^a 另外, 可用模拟电路。 ^b 见 9.4.6。					

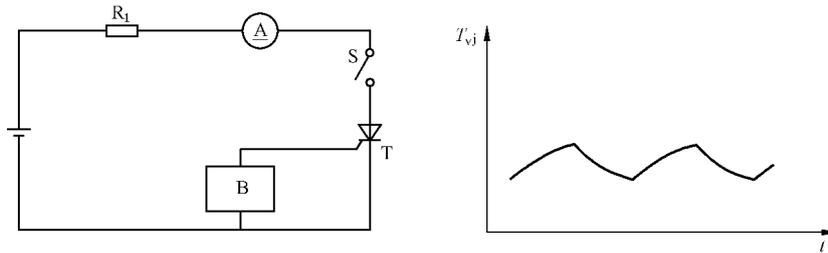
9.4.6 热循环负载试验

目的:

用耐久性试验确认某些类型的晶闸管承受结温波动的能力。

电路图和波形:

电路和波形如图 87 所示。



说明：

T —— 受试晶闸管；

B —— 门极电源。

图 87 热循环负载试验的电路和波形

试验程序：

晶闸管用规定电流加热，其值最好近似等于额定最大通态平均电流，直至结温达到在额定最高等效结温 T_{jmax} 和 $(T_{jmax} - 20\text{ }^{\circ}\text{C})$ 之间的值。

注：器件串联试验时，其结温可在 T_{jmax} 和 $(T_{jmax} - 30\text{ }^{\circ}\text{C})$ 之间。

然后断开开关 S，晶闸管冷却至等效结温不高于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

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。

通常，规定的参数有通态电压、断态电流、在给定电压和温度条件下的阻断能力、门极触发电流和（或）电压以及热阻。

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:

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

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。

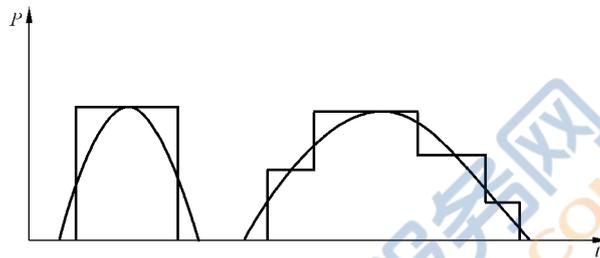


图 A.1 非矩形脉冲的阶梯形近似

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:

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

——方法 B:用分析函数,由式(A.3)计算:

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

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)

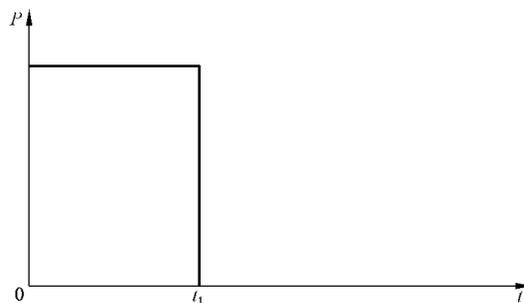


图 A.2 半导体器件内产生耗散功率 P 、持续时间为 t_1 的矩形脉冲

方法 A:

在时间 t_1 时的等效温升由式(A.4)计算:

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

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

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

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。

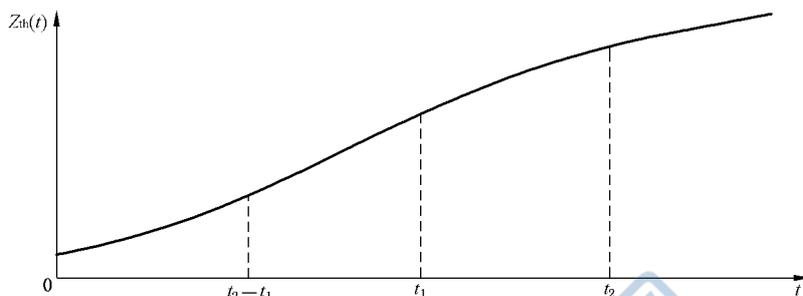


图 A.3 瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 与时间的关系

方法 B:

在时间 t_1 时的等效温升由式(A.6)计算:

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

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

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

式(A.7)可变换为式(A.8):

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

所得结果与方法 A 的结果一致。

b) 脉冲单序列(见图 A.4)

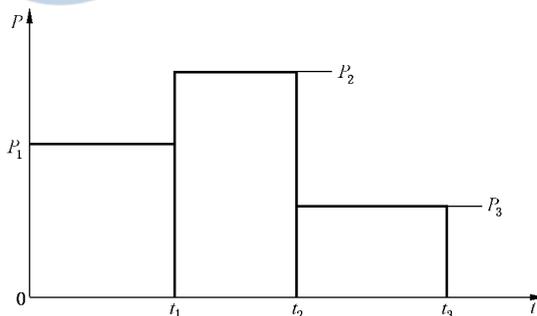


图 A.4 三个矩形脉冲单序列

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:

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

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

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

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:

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

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

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

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):

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

对于方法 B,有式(A.16):

$$\Delta T_j(t_Q) = \sum_{q=1}^Q (P_q - P_{q-1}) \sum_{i=0}^n R_i \times (1 - e^{(t_Q-t_{q-1})/\tau_i}) \dots\dots\dots (A.16)$$

其中: $P_0=0, t_0=0$ 。

c) 相同脉冲的周期序列(见图 A.5)

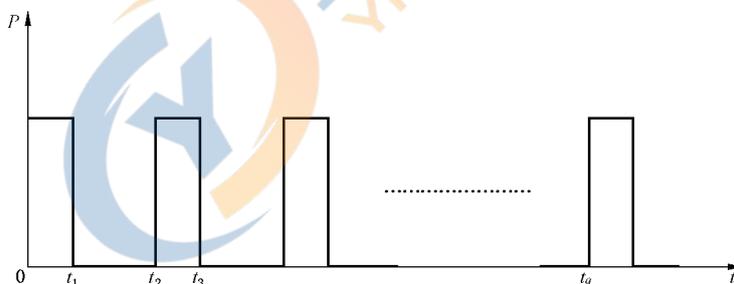


图 A.5 相同脉冲的周期序列

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} :

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

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

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

其总和由式(A.19)计算:

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

若满足下列条件之一,则得出一好的近似:

- 1) $Z_{th}(t_1) \geq 0.5 Z_{th}(t_\infty)$;
- 2) $Z_{th}(t_2) - Z_{th}(t_1) \leq 0.1 Z_{th}(t_\infty)$ 。

方法 B:

在第 q 个脉冲结束时的温升由式(A.20)准确计算:

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

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:

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

d) 不同脉冲的周期序列(见图 A.6)

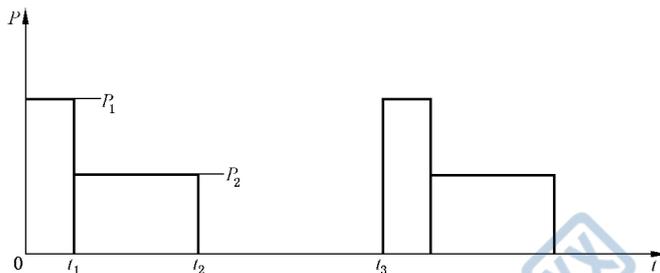


图 A.6 每组两个不同脉冲的周期序列

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:

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

由式(A.23)计算温升 $\Delta T_j(t_3 + t_2)$:

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

则总和由式(A.24)计算:

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

方法 B:

在第 q 个序列时的温升由式(A.25)准确计算:

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

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:

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

e) 附加叠加

如晶闸管工作在 200 Hz 以下开关频率时, 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:

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

式中：

P_{st} ——稳态负载。

总温升由式(A.28)计算：

$$\Delta T_{jst} + \Delta T_j \quad \dots\dots\dots (A.28)$$

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：

$$R_i' = R_i \times \frac{1 - e^{-t_1/\tau_i}}{1 - e^{-t_2/\tau_i}} \quad \dots\dots\dots (A.29)$$

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

计算方法		热响应		负载条件		
方法 A		方法 B				
1. 单脉冲	$\Delta T_j(t_1) = P \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-t_1/\tau_i})$ $\Delta T_j(t_2) = P \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-t_2/\tau_i}) - P \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-(t_2-t_1)/\tau_i})$		$\Delta T_j(t_1) = P \times Z_{th}(t_1)$ $\Delta T_j(t_2) = P \times [Z_{th}(t_2) - Z_{th}(t_2 - t_1)]$		$\Delta T_j(t_1) = P_1 \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-t_1/\tau_i})$ $\Delta T_j(t_2) = P_1 \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-t_2/\tau_i}) + (P_2 - P_1) \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-(t_2-t_1)/\tau_i})$ $\Delta T_j(t_3) = P_1 \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-t_3/\tau_i}) + (P_2 - P_1) \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-(t_3-t_1)/\tau_i}) + (P_3 - P_2) \sum_{i=1}^n R_i \times (1 - e^{-(t_3-t_2)/\tau_i})$	
Q 个脉冲的单序列 $P_0 = 0 \quad t_0 = 0$	$\Delta T_j(t_Q) = \sum_{q=1}^Q (P_q - P_{q-1}) \times Z_{th} \times (t_Q - t_{q-1})$		$\Delta T_j(t_Q) = \sum_{q=1}^Q (P_q - P_{q-1}) \times Z_{th} \times (t_Q - t_{q-1})$		$\Delta T_j(t_Q) = \sum_{q=1}^Q (P_q - P_{q-1}) \times Z_{th} \times (t_Q - t_{q-1})$	

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

第6部分：晶闸管

GB/T 15291—2015/IEC 60747-6:2000

*

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.spc.org.cn

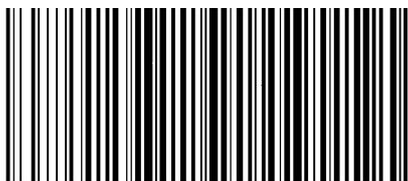
服务热线: 400-168-0010

2016年5月第一版

*

书号: 155066 · 1-52902

版权专有 侵权必究



GB/T 15291-2015