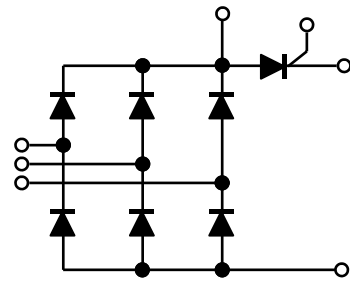


装有三相桥式整流二极管及冲击电流抑制功能晶闸管
PGH系列功率模块

PGH系列是将三相桥式整流二极管和抑制冲击电流功能的晶闸管组装在一起的功率模块，这些模块广泛用于三相变换器的整流电路中。这里提供选择三相整流电路、门极电路、散热器等与PGH系列产品应用方面有关的技术信息。同

时对现在很多人不熟悉的晶闸管的基本工作原理做一个说明。



PGH系列内部构成

PGH系列一览表

| 零件编号 | $I_{T(AV)}, I_{F(AV)}$ (A) | V_{DRM}, V_{RRM} (V) | 外壳输出端子 |
|------------|----------------------------|------------------------|--------|
| PGH308 | 30 | 800 | E-15 |
| PGH3016AM | 30 | 1600 | E-36 |
| PGH508AM | 50 | 800 | E-36 |
| PGH5016AM | 50 | 1600 | E-36 |
| PGH758AM | 75 | 800 | E-36 |
| PGH7516AM | 75 | 1600 | E-36 |
| PGH1008AM | 100 | 800 | E-36 |
| PGH10016AM | 100 | 1600 | E-36 |
| PGH1508AM | 150 | 800 | E-43 |
| PGH15016AM | 150 | 1600 | E-43 |
| PGH2008AM | 200 | 800 | E-43 |
| PGH20016AM | 200 | 1600 | E-43 |

功率模块装在散热装置(散热器)上使用,安装不正确会降低可靠性或引发故障,正确的安装方式是先决条件,务必先确认以下各注意事项。

●安装到散热器上

- 散热器的安装面要加工成毛刺或凹凸少的平坦面。
- 散热器表面和半导体产品的安装面要清理干净,然后薄而均匀地涂上导热性好的导热膏(推荐用信越的硅膏: G746),涂抹时尤其注意不要附着到螺钉上。

- 紧固扭矩应遵守规定值。

●紧固螺钉

- PGH有2个或4个安装用螺钉孔。先初步固定所有的螺钉,然后再按规定的扭矩拧紧。初步固定的松紧程度以轻轻紧固弹簧垫圈为宜。紧固顺序请参见下图。



暂时紧固

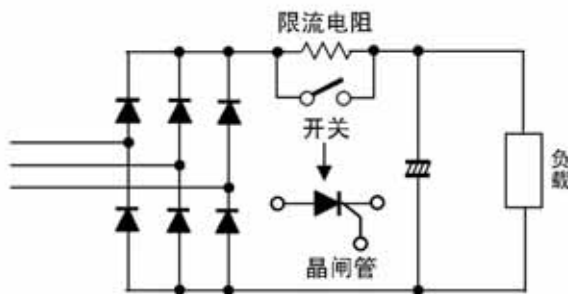
正式紧固

安装时的紧固顺序

●三相AC-DC变流器和PGH系列

作为大功率逆变器等AC-DC变换电路较常用的是三相全波整流电路。在以下电路中的开关接通时,如果对充电电流不加限制,则滤波电解电容器的使用寿命会显著缩短。

考虑到接点的寿命,使用晶闸管代替该开关更为适合。PGH型模块是将三相桥式二极管和晶闸管封装在一起的模块,最适合于这种电路构成。虽然像电脑电源类似的中、小功率开关电源普遍采用NTC热敏电阻,但对大到一定容量以上的电源系统还是请考虑选用PGH型功率模块。



有限制冲击电流功能的三相全波AC-DC变流器

这是抑制冲击电流流向电解电容器的三相全波AC-DC变流器电路。由电阻来限制冲击电流,在过渡充电期间过后,该电阻由开关短路掉。该开关虽然也可以使用机械式继电器,但考

●三相全波整流电路

在下一页归纳了有关三相全波整流电路的交流输入、直流输出、二极管电流的峰值、平均值、有效值间的关系,请在选择二极管等元件时作为参考。同时对单相整流电路也做了整理。

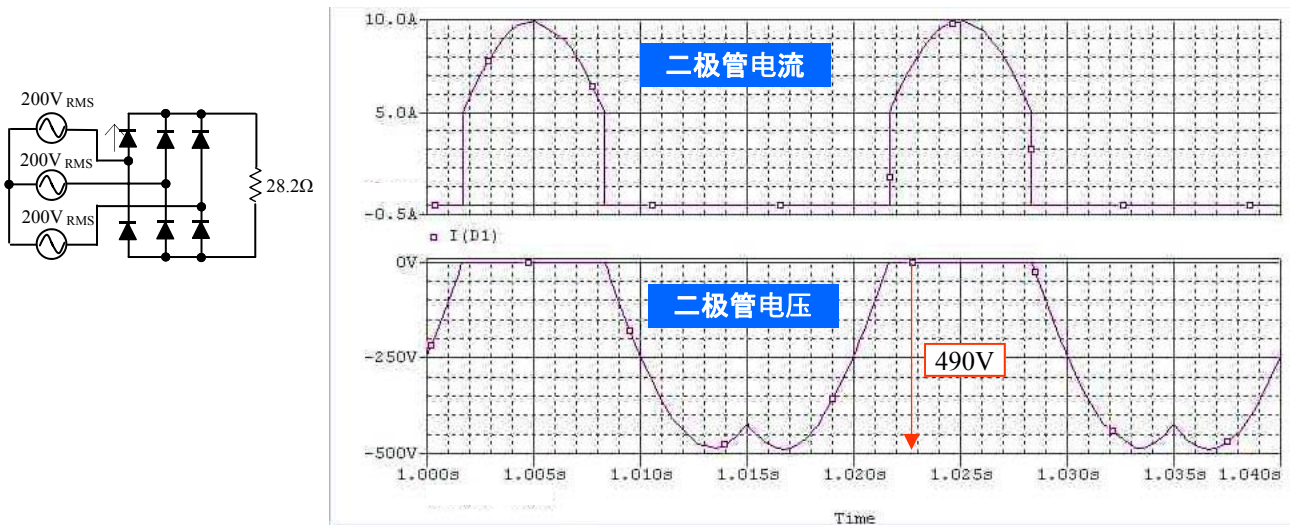
加在三相全波整流电路所用的PGH的二极管上的反电压峰值是相电压的2.45倍。即三相200V电源时加在二极管上的峰值反电压为490V,三相400V电源时加在二极管上的峰值反电压为980V。

●二极管、晶闸管耐压和AC输入电压以及线路EMC滤波器

PGH系列有下列种类

| | | | | | |
|------------------|------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 整流电路 | | | | | |
| | | | | | |
| 各二极管 (电阻性负载时) | 平均电流 | $I_{d_{AVG}}$ | $0.5 I_{d_{AVG}}$ | $0.5 I_{d_{AVG}}$ | $0.333 I_{d_{AVG}}$ |
| | 有效电流 | $1.57 I_{d_{AVG}}$ | $0.785 I_{d_{AVG}}$ | $0.785 I_{d_{AVG}}$ | $0.579 I_{d_{AVG}}$ |
| | 峰值电流 | $3.14 I_{d_{AVG}}$ | $1.57 I_{d_{AVG}}$ | $1.57 I_{d_{AVG}}$ | $1.05 I_{d_{AVG}}$ |
| 各二极管 (电感性负载时) | 平均电流 | | $0.5 I_{d_{AVG}}$ | $0.5 I_{d_{AVG}}$ | $0.333 I_{d_{AVG}}$ |
| | 有效电流 | | $0.707 I_{d_{AVG}}$ | $0.707 I_{d_{AVG}}$ | $0.578 I_{d_{AVG}}$ |
| | 峰值电流 | | $I_{d_{AVG}}$ | $I_{d_{AVG}}$ | $I_{d_{AVG}}$ |
| 二极管反向峰值电压 | | $1.41 e_{RMS}$ | $2.82 e_{RMS}$ | $1.41 e_{RMS}$ | $2.45 e_{RMS}$ |
| DC输出电压峰值 / 平均 | | 3.14 | 1.57 | 1.57 | 1.05 |
| AC输入电压线电压 / 相电压 | | | 2 | | 1.73 |
| AC输入电压有效值 / 平均值 | | 2.22 | 1.11 | 1.11 | 0.428 |

表1、整流电路常数

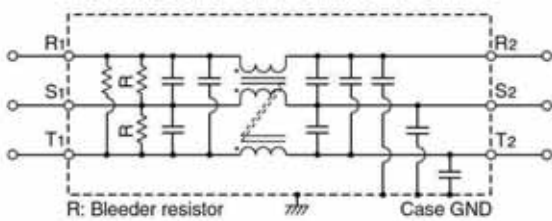


三相全波整流电路中的二极管电流和电压之例

输入AC200V系用 耐压800V

输入AC400V系用 耐压1600V

在AC电源和二极管整流电桥间务必设置适当的线路EMC滤波器，既不易受到外部高次谐波分量干扰的影响，又能使得设备内部高次谐波分量向外部泄漏的干扰得以衰减。此外，还可减轻外来电网浪涌对半导体元件施加的电压（电流）冲击应力。

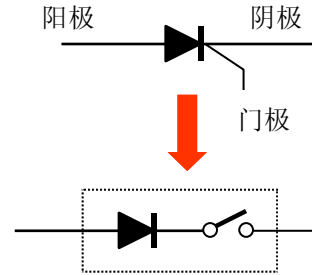


TDK生产的三相电源线路滤波器及其内部构成

●晶闸管

1. 什么是晶闸管

晶闸管可视作为具有开关功能的二极管。

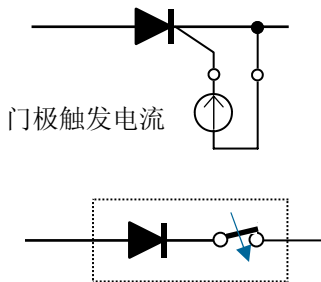


晶闸管 (SCR)

晶闸管与晶体管同样都是由电流驱动的器件。晶体管，当基极通以电流，集电极就有 hFE 倍的电流流动。而对于晶闸管，当门极通以大于规定值以上的电流（门极触发电流）时，就成为导通状态。下图表示这一关系。对晶体管来说，只在基极有电流的期间内，才有集电极电流流动。而对晶闸管，即便切断门极电流，阳极电流也仍然继续流动。因而，在晶闸管的导通时间内，门极并不一定需要继续通以电流。当今，作

| | | | |
|-------------------------|--|--|--|
| <p>晶闸管 (SCR)</p> | | | |
| <p>晶体管 (NPN)</p> | | | |

为开关器件，虽说是以电压驱动MOSFET和IGBT元件占据主流。而晶闸管是电流驱动的器件，这在设计门极电路时十分重要。

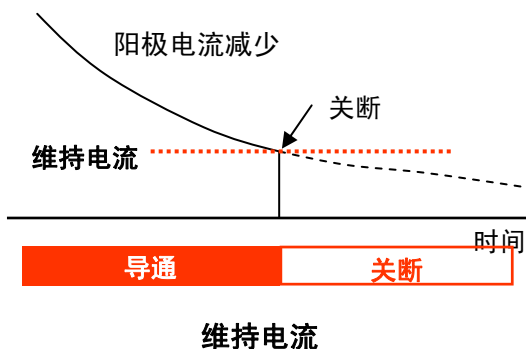


电流流过门极使晶闸管导通

2. 作为晶闸管开关的性质维持电流和擎住电流

2-1. 维持电流

晶闸管一旦导通，当阳极电流大于某一电流时，将维持导通状态。换言之，若小于某一电流就会关断。这一电流就是维持电流。PGH308 (30A 800V)的维持电流为70mA (25 时的代表值)。

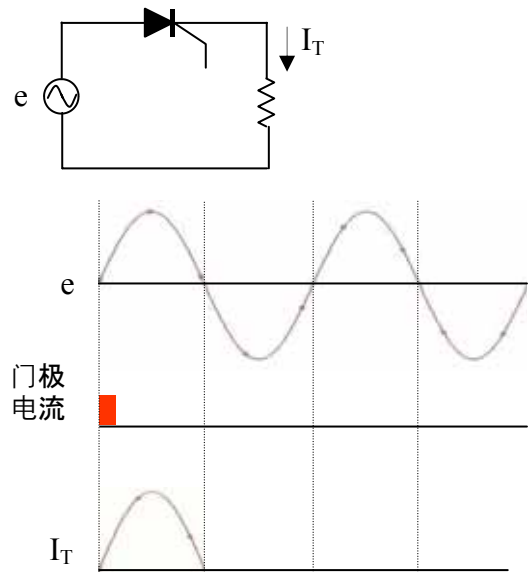


维持电流

下面通过实际电路来看一看维持电流的影响。这里，脉冲触发电流只流经1次。晶闸管虽然导通了，但在电阻负载的情况下，当阳极和阴极间的电压为零时，阳极电流也为零，即在维持电流以下。即便再次给晶闸管的阳极施加正向电压，如果不给门极以合适的电流，则晶闸管就不会导通。

2-2. 擎住电流

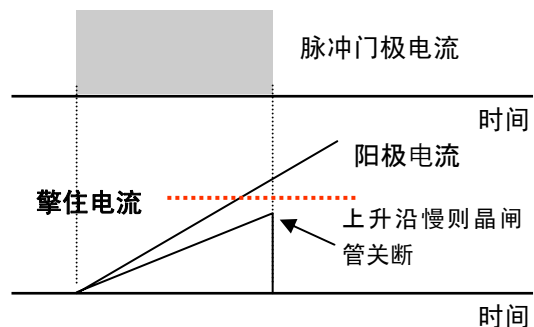
电流上升沿缓慢，在还没有上升到一定程度的阳极电流时，如果断开门极电流的话，则一度导通的晶闸管又会关断。而即便门极电流断开也能保持导通的最小阳极电流就是擎住电流。



晶闸管即便导通但如果阳极电流在维持电流以下，晶闸管也会自行关断。

PGH308 (30A 800V)的擎住电流为90mA (25 时的代表值)。

如有与擎住电流相关出现晶闸管不导通(不能维持导通状态)的情况，请增大门极脉冲的宽度或设计成多脉冲触发电路。



擎住电流

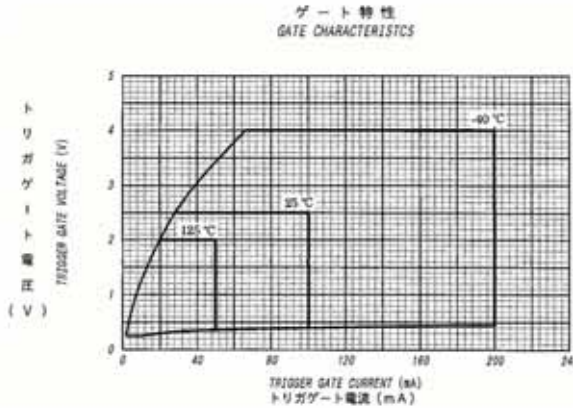
另外，维持电流、擎住电流都与温度有关，温度越低维持电流、擎住电流值也就越大。(在-40 时为25 时的2倍左右)

3. 门极驱动

3.1 为了让其切实导通

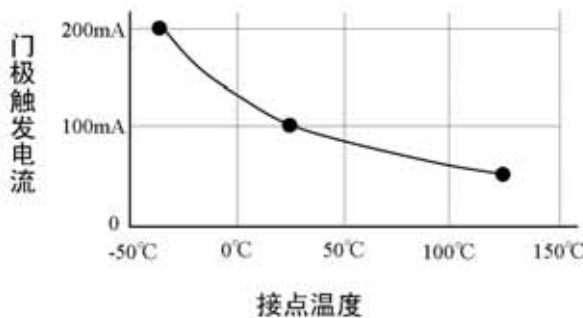
3.1.1 门极特性与温度的关系

在PGH308的数据表中，门极特性所示如下。



上图表示在-40℃、25℃以及125℃时能使所有的PGH308导通（触发）的门极电流和门极电压。例如在25℃时，如果给以DC 100mA的门极电流，可使所有的PGH308导通，此时的门极和阴极间电压在2.5V以下。

按照这一图表，以设备的最低工作温度为基准，求出门极电流应该为多少。只要画出在-40℃、25℃、125℃时的触发门极电流的图表，就能知道在-20℃时为150mA左右。

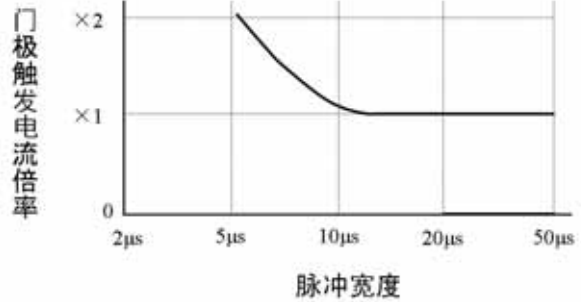


门极触发电流与温度的关系

3.1.2 脉冲门极电流对脉冲宽度的依赖性

门极电流是脉冲电流，该脉冲宽度小于20μs时，与DC时相比，没有更大的电流晶闸管是导通不了的。尤其是脉冲宽度低于10μs时，没有比DC时大得多的门极电流是无法使晶闸管导通的。

例如，5μs宽度的脉冲时，触发门极电流是DC时的2倍。如果设备的最低工作温度为-20℃，门极脉冲宽度为5μs，必须有150mA×2=300mA的电流。像这种由脉冲门极电流来驱动导通的器件，请根据温度和脉冲宽度求出所需的驱动电流。

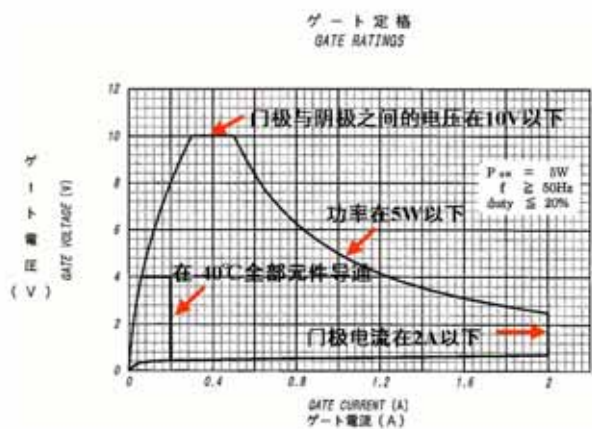


脉冲门极触发电流（代表特性）

3.2 门极的额定电流、额定电压、额定功率

额定是指超过这一数值就有可能使装置的可靠性明显下降或损坏装置的限度。门极的额定如下面的图表所示，规定有峰值电流、电压、功率（门极电流与门极和阴极之间电压之积）。而且门极功率还有限制（平均值需在1W以下）。详情请查阅各类型的数据表。

常常会出现为了使晶闸管切实导通而提高门极电流、电压的情况。对DC触发信号要注意平均功率，而对脉冲触发信号要注意峰值功率。



门极额定值

3.3 为了防止因干扰而导通（误动作）

非触发门极电压规定为0.25V（Tj=125℃、2/3·V_{DRM}）。这意味着门极与阴极之间施加电压超过0.25V时，晶闸管就会导通。

下面一些措施可望有效避免因干扰而造成意想不到的导通（误动作）。

*门极驱动用阴极连接至专用端子。

*门极串联二极管

可消除约0.7V的二极管的正向电压干扰。但

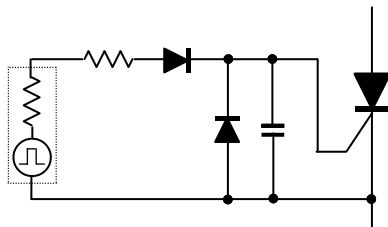


这0.7V需由驱动电路弥补。

*门极并联二极管

防止过大的门极反向电压。

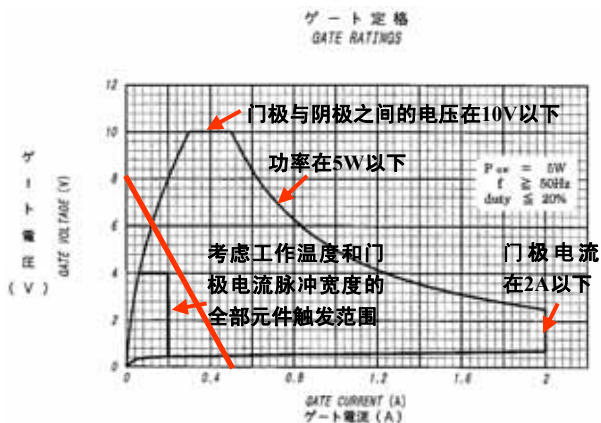
*门极并联电容器 (0.01~0.1μF)



防止晶闸管误动作

3.3、门极负载线

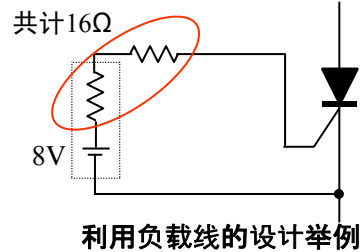
门极负载线可用于确定门极触发电路的电源电压和限流电阻(包括电源内部电阻)。由此能够考虑最低工作温度和触发脉冲宽度,设计成能使所有器件导通且驱动电流、电压以及功率都在额定值之内。



门极负载线

如图所示,在电压轴(纵轴)绘上门极触发电路开路时电源电压;在电流轴(横轴)绘上短

路电流值并用直线连接,这就是门极负载线,应在全部元件触发范围之上,且门极电流、电压、功率之下。本例中开路电压为8V,短路电流为0.5A,故限流电阻为16Ω。



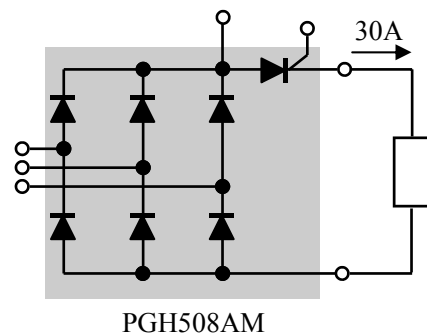
这一负载线是传统的思路,现在很容易就能获得恒压、恒流驱动电路。IGBT和MOSFET由电压驱动,但驱动晶闸管是由电流驱动的。因此,晶闸管的门极电路要按恒流电路的思路设计。

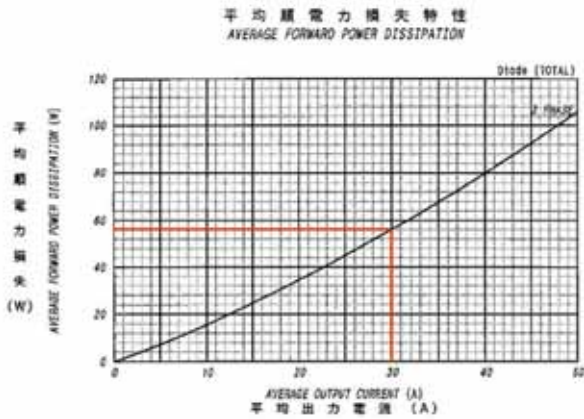
让门极一直通直流电流,当在阳极与阴极之间施加反向电压时,晶闸管的反向功率损耗会激增。PGH系列模块本来的用法是不给晶闸管施加反向电压,所以不发生这种情况。但是作为晶闸管的一般特性,请要记住它。

4. 热设计(散热器选定)

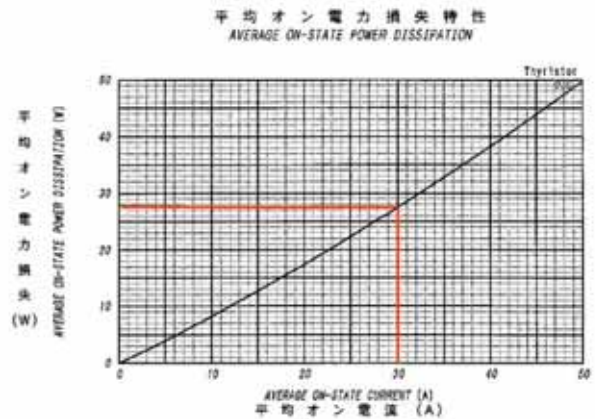
包括PGH系列模块在内,大多数功率模块的基板为铜板。但是,在没有安装到散热器上的状态下,温升大,基本上不能通过电流。只有与符合使用状况的适当的散热器组合,才能发挥出预定的功能。另外,再重复说一下,请在散热器的表面和模块安装面上薄而均匀地涂上导热膏(信越有机硅胶G746等)。接触热阻是以涂上导热膏为前提而规定的。

下面进行PGH508AM输出30A时的热设计。





二极管正向功率特性（6个总和）



晶闸管导通功率特性

对热阻的规定如下。

- 接触热阻 $R_{th(c-f)}$ $0.06^{\circ}\text{C}/\text{W}$
- 二极管热阻 接点—外壳间 $R_{th(j-c)}$ $0.27^{\circ}\text{C}/\text{W}$
- 晶闸管热阻 接点—外壳间 $R_{th(j-c)}$ $0.8^{\circ}\text{C}/\text{W}$

此外，可从图表读取二极管和晶闸管的损耗

二极管（6个总和） 56W

晶闸管 27.5W

二极管损耗是将6个二极管合在一起计算的，因为规定热阻时，是将6个二级官元件归纳在一起的。

以下将计算用图示来表示。

相对于外壳温度接点的温升

二极管

$R_{th(j-c)}=0.27^{\circ}\text{C}/\text{W}$

56W

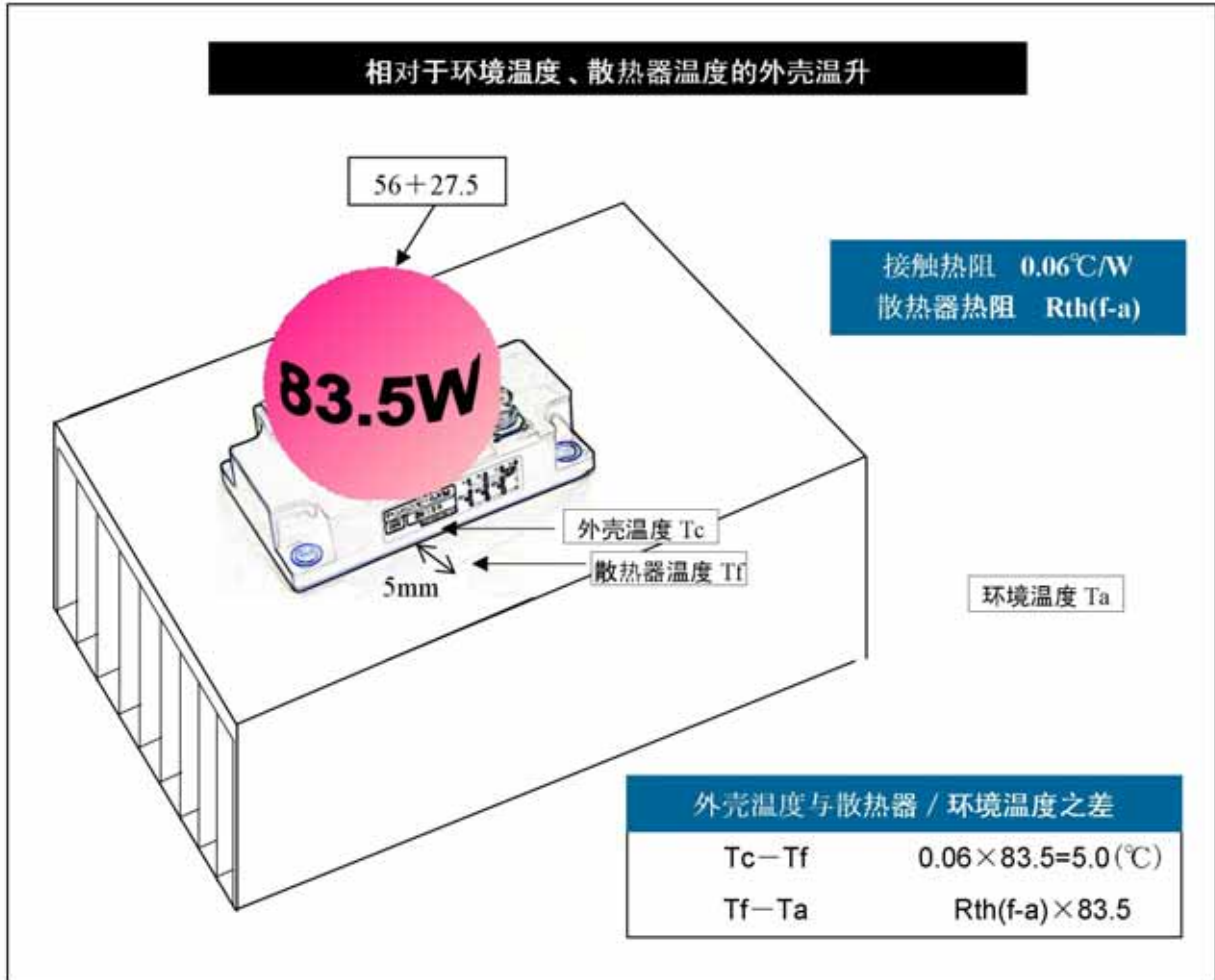
晶闸管

$R_{th(j-c)}=0.8^{\circ}\text{C}/\text{W}$

27.5W

外壳温度 T_c

| 外壳温度 T_c 与 接点温度 T_j 之差 | |
|----------------------------|----------------------|
| 二极管 | 晶闸管 |
| 15.1°C | 22°C |
| (56×0.27) | (27.5×0.8) |



根据上面的计算，相对于散热器温度，接点温度升高为：

二极管 $15.1 + 5 = 20.1 (^\circ\text{C})$

晶闸管 $22 + 5 = 27 (^\circ\text{C})$

温升高的晶闸管的最高接点温度为 150°C ，故散热器温度容许到 123°C 。根据

$$T_f - T_a = R_{th}(f-a) \times 83.5$$

环境温度 T_a 为 50°C 时，散热器的热阻为

$$R_{th}(f-a) \leq (123 - 50) / 83.5 = 0.87 (^\circ\text{C/W})$$

这里是假定PGH508AM流经30A电流来计算散热器热阻的。以此为参考来选择要使用的模块及与流经电流相应的散热器。

5. 浪涌导通电流、 I^2t 、 di/dt 、 dv/dt

内置PGH的晶闸管从使用方法上来说与这些额定和特性不相干。但是，由于规格书中有规定，所以还是做一下说明，以供作为这些晶闸管固有项目的参考。

5.1. 浪涌导通电流、 I^2t 、临界上升率 di/dt

这些是额定值，是规定是否损坏的限度。由于是“不重复”的额定参数，原则上只要流经或者施加1次，就会损坏或降低器件的可靠性。

浪涌导通电流是规定在流经50Hz（或60Hz）、10ms（或8.3ms）的正弦半波电流时的损坏承受力。横轴从0.02ms（1脉冲）到2sec（100脉冲），纵轴是电流的峰值。

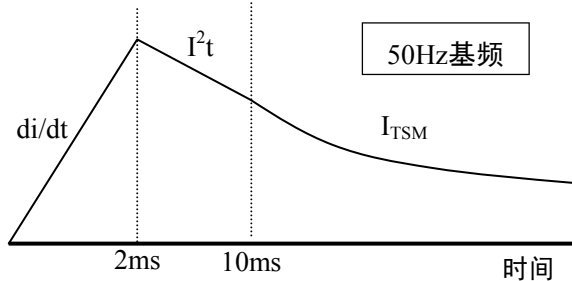
I^2t 是以1个脉冲（10ms）的浪涌导通电流为基础计算的，承受时间规定为2~10ms。这里， I 为有效电流。设1个脉冲的浪涌导通电流为600A，则可计算如下

$$(600 / \sqrt{2})^2 \times 0.01 = 1,800 \text{A}^2\text{s}$$

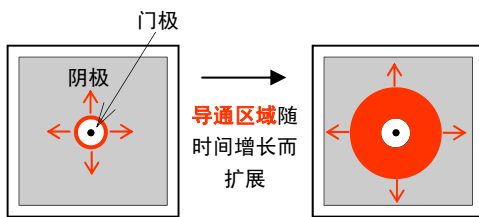
在用熔丝保护晶闸管时，此数字可派上用处。对熔丝也有同样的规定，要权衡能够使熔丝熔断而晶闸管不损坏的最佳配合。

临界导通电流上升率 di/dt 是规定对2ms以内的脉冲电流的承受能力。要是晶闸管全导通，门极电流需要100 μs 左右。换言之，如果通以宽度

窄的脉冲电流,则只能处于部分导通状态,由于小面积承担功率,功率密度很高。因此, di/dt 是对上升快的脉冲电流容量的规定。将上面3个电流额定用一根时间轴来表示的话,则如下所示。



对于现在作为功率用开关器件主流的 MOSFET 和 IGBT 来说,不用担心会不会因电流上升快而损坏。因为它们是以微小单元集成的。与晶闸管相比,高频特性更优异。而晶闸管是由单一晶闸管芯片形成的,因而,从门极附近开始开通,开通区域随时间增长而扩展到整个芯片。



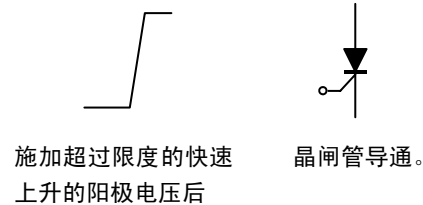
晶闸管芯片导通区域扩展的情形

例如临界导通电流上升率 di/dt 为 $100A/\mu s$, 开始导通后(门极电流开始流动后) $1\mu s$ 时超过 $100A$ 、 $2\mu s$ 时超过 $200A$ 时就可能损坏。在初期导通的区域取决于门极通以怎样的驱动电流。在 di/dt 的条件栏里, $25^\circ C$ 时的门极触发电流为 $50mA$, 如果以 $i_G=200mA$ 、 $di_G/dt=0.2A/\mu s$, 这么快的上升沿和大的门极电流驱动时,初期导通区域很大,以此为前提规定 di/dt 的承受力。施加大 di/dt 时,对电路是由电抗器来抑制电流的上升率;对晶闸管,采用在额定范围通以充分大、上升率快的门极电流来应对。

5-2. 临界关断电压上升率 dv/dt

如上面所说明的,门极电流流过,晶闸管导通。但是,如果给阳极施加上升率很快的电压晶闸管马上就导通了。临界关断电压上升率 dv/dt

就是规定这一限度的。因为关断状态下流经晶闸管芯片内的节间电容。位移电流与门极加驱动电流有着相同的效果。 dv/dt 是典型的晶闸管误动作的原因。



具有 $100V/\mu s$ 以上 dv/dt 承受力的晶闸管芯片内置有使位移电流分流的电阻。如果担心 dv/dt 引起的误动作,可选择 dv/dt 承受力大的晶闸管,对其门极电路可实施前面提到的防干扰措施,然后用 CR Snubber (缓冲器) 等抑制 dv/dt 本身。