

(高耐压 IGBT 模块)  
使用说明书

株式会社 日立制作所  
电力系统公司  
电机系统事业部  
<功率半导体本部●开发部>

2009 年 12 月发行

2009 年 HITACHI Ltd.

## — 重要告知 —

本使用说明书，请保管于负责使用本公司高耐压 IGBT 模块（以下，称为本产品）的操作者身边。

有关本产品的保证及详细合同，请另行参考“合同书”。

本产品的使用者，使用前请务必熟读本使用说明书以及本书所列相关图书，依照产品知识、安全信息及注意事项、操作・使用方法等的指示，正确使用。

使用时，请务必始终遵守记载于本使用说明书的各种规格范围。

请实施正确的检查和保养，防范故障于未然。

对于超过绝对最大额定值使用时以及由天灾等不可抗力导致的半导体器件的故障及二次损害，本公司不承担责任。

请勿实施本使用说明书未记载的操作、处置及改造，使用时请依照本使用说明书的记载内容。否则可导致产品及人身灾害。

对于起因于上述原因的事故，本公司不承担任何责任。

对于起因于使用本使用说明书记载的信息、产品及回路导致的损害以及专利权等其他权利侵害，本公司不承担任何责任。

如果有本使用说明书中无法理解的内容、疑点、不明确之处，请咨询您附近的日立制作所分社或者以下负责部门（或者本公司派出的员工）。

对于本使用说明书记载的内容，本公司享有知识产权。未经书面同意，不得向第三者公开全部或者部分内容。

为提高性能，记载于本使用说明书的本产品的规格、尺寸等，可未经预告进行变更。订货时，请根据需要，与本公司营业部门联系，请参照记载了最新规格及使用上注意事项的规格书或者产品目录。

本使用说明书，并不承诺第三者或者本公司专利权及其他权利的实施权。

严禁未经本公司同意，擅自转载或者复制部分或者全部本使用说明书。

废弃及处理半导体器件及包装材料时，请遵守各自国家或者地区规定的法律及条例。

记载于本资料的产品(技术)，请勿再次提供给使用目的为妨碍维持国际和平及安全的人员，也不得出于上述目的自行使用或者提供给第三者。出口等时，请依照外汇法的规定办理必要手续。

发生无法运转、故障等时，请立即与下列负责部门或者您附近的日立制作所分社联系，并告知以下信息。

- 该产品的铭牌内容或者规格（品名、制造编号、容量、型号、制造年月等）
- 异常内容（包括发生异常前后的状态，应尽量详细）


〒319-1221 茨城县日立市大和田町五丁目2番2号  
（株）日立制作所 电力系统公司 日立事业所 质量保证本部  
功率半导体质量保证部 功率半导体质量保证课  
TEL: +81 (294) 55-6841 (直线)  
FAX: +81 (294) 55-9953  
或者 日立（中国）有限公司上海分公司 IDG 部门  
TEL: +86-21-6472 1002


# 安全上的注意


使用半导体器件前，请全部熟读本使用说明书以及本书所列相关图书，正确使用。请熟悉产品知识、安全信息以及全部注意事项后使用。

本使用说明书，将安全上的注意事项等级划分为“警告”“注意”。

表示的定义

 **警告**：一旦错误使用，可发生死亡或者重伤等危险状态的场合。

 **注意**：一旦错误使用，可发生轻伤或者仅仅物质损害等危险状态的场合。

即使是记载于  **注意** 的事项，根据不同状况，也可能导致重大后果。  
以上均记载了重要内容，请遵守。

※损害的程度分类，请参考以下内容。

**重伤**：失明、受伤、烫伤（高温・低温）、触电、骨折、中毒等残留后遗症的情况以及需要住院治疗、长期去医院就诊的情况。

**轻伤**：不需要住院治疗以及长期去医院就诊的情况。（除上述之外的情况）

**物质损害**：指财产损害以及与产品损伤有关的扩大损害。

上述安全上的注意，与半导体器件的安全有关，基于确保必要安全性的原则，是补充产品自身各种措施的重要内容。请用除了上述警告表示之外，作为重要事项，记载了防止产品损伤以及正常工作的必要事项，请遵守相关内容。客户依照与产品、设施安全运转及保养有关的各种规格、基准，确立安全措施。

除了上述警告表示之外，作为 **重要事项**，记载了防止产品损伤以及正常工作的必要事项，请遵守相关内容。

<总体注意事项>

- 半导体器件，可能会由于偶尔发生或者无法预期的浪涌电压等发生故障，请充分注意进行冗余设计、防止误动作设计等安全设计，以达到即使发生故障也不会发生扩大损失的目的。

- 半导体器件，并不为了与人命相关的装置而特别开发。

用于需要极高可靠性的用途（核能控制、航空宇宙、交通产品、与生命支撑相关的医疗产品、燃烧控制产品、各种安全产品等）时，请特别使用可确保高可靠性的半导体器件，并且在使用侧配置失效保险等，以确保安全。


此外，请告知本公司营业窗口。

（半导体器件发生故障，可导致半导体器件或者配线、配线结构等冒烟、着火，或者半导体器件破裂。）


- 大电流负载试验

请实施涵盖实际产品可能会产生的电流、电压、频率、脉冲幅度条件等的实际负载试验。

以下警告表示，与半导体器件有关。如果不遵守下列警告表示，可能会发生死亡或者重伤等危险状态。下列警告表示的风险顺序，决不表示重要程度的顺序。各项目均为重要。

 <b>警告</b>	<b>记载页码</b>
(7 章. 事故时的注意事项) (7-1. 警告事项) (7-1-1. 对封装破裂的警告事项) ● 发生负载短路及桥臂短路时，请在短时间内（数 $\mu\text{s}$ 左右）关闭 IGBT 模块。 否则封装可能会破裂。	35
(7-1-2. 对烫伤、触电的警告事项) ● 通电过程中，请勿触摸或者靠近产品。 否则可导致烫伤、触电。	35

以下警告表示，与半导体器件有关。如果不遵守下列警告表示，可能会发生轻伤或者仅仅物质损害等危险状态。下列警告表示的风险顺序，决不表示重要程度的顺序。各项目均为重要。

 <b>注意</b>	<b>记载页码</b>
<p>(2章. 规格的注意事项)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 设计使用了半导体器件的电子电路时，使用过程中无论外部条件如何变化，也不得超过该器件指定的“绝对最大额定”。</li> </ul> <p>此外，用于脉冲用途时，不得超过“安全工作区域（SOA）”的额定。</p>	<p>3</p>
<p>(7章. 事故时的注意事项)</p> <p>(7-2. 注意事项)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● IGBT 损坏后，请勿长时间（数百 <math>\mu\text{s}</math> 左右）流过短路电流。</li> </ul> <p>否则有冒烟、着火的危险。</p>	<p>35</p>

## 修订记录一览表

修订 No.	修订记录 (修订内容及理由)	年 月 日	编制	审核	批准	备考
修订 0	新发行	2000.10.12	古贺	黑须	上原	
修订 1	3-1 降低额定值项修订内容 (P7) 3-7 热阻抗与散热设计项修订内容 (P20)	2002.10.23	加藤	齐藤	古贺	
修订 2	修订内容 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 封面</li> <li>• 重要告知</li> <li>• 安全方面的注意</li> <li>• 目录</li> <li>• 正文</li> </ul> 1-1 型号的命名方法 1-3 模块的基本构造 2-1 规格的记载事项 3-4 动态雪崩 3-7 热阻抗与散热设计 3-8 死区时间 4-1 安装于 IGBT 模块的冷却片 4-2 端子的安装 5-3 可靠性试验	2009.12.15	中村	小池	QA/阿部	

# 序言

本使用说明书，是与半导体器件的一个种类——IGBT 模块的规格、特性表、外形尺寸图以及使用上的注意事项有关的说明书，阅读对象为从事与 IGBT 模块单体试验或者使用了 IGBT 模块的逆变器电气产品的设计、制造、试验相关业务的人员。为理解和恰当使用本使用说明书，必须具备工业高中电气科毕业或者同等教育程度的知识。

IGBT 模块，即通过控制附加于门极的电压，控制主电路电流开闭的电压控制形半导体开关。

本使用说明书，记载了为有效安全地发挥 IGBT 模块的功能所必需的使用方法。

本使用说明书的记载内容，由于改进等，可未经预告进行变更。

最新信息（各产品的具体规格及详细应用），请参考以下 Web 网站（<http://www.hitachi.co.jp/products/power/pse/>）。

有不明确之处时，请咨询本公司营业窗口。

## 用语・略语的说明

本使用说明书中使用的用语・略语，请参考下表。

用语・略语	原文	意义
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	绝缘门极型双极三极管
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor	金属氧化物半导体场效应三极管
FWD	Fly Wheel Diode	回流二极管 文中指与 IGBT 反向并联的二极管
RBSOA	Reverse Biased Safe Operating Area	反偏安全工作区

## 本书的构成

本书，对半导体器件的一个种类——IGBT 模块的规格、特性表、外形尺寸图以及使用上的注意事项进行了说明。从事与 IGBT 模块的单体试验或者使用了 IGBT 模块的电气产品设计、制造、试验业务有关的人员，请仔细阅读并理解本书，并按照指示使用。

本书，由以下内容构成。

- 1 章. IGBT 模块：对 IGBT 模块的型号命名方式、构造、工作原理进行说明。
- 2 章. 规格记载事项：说明规格的记载内容。
- 3 章. 使用上的注意：对使用 IGBT 模块时的注意事项进行说明。
- 4 章. 安装上的注意：对安装 IGBT 模块时的注意事项进行说明。
- 5 章. 可靠性：对 IGBT 模块的可靠性以及质量保证进行说明。
- 6 章. 故障时的应对：说明 IGBT 模块的故障模式及电气特性的确认方法。
- 7 章. 事故时的注意事项：对 IGBT 模块故障时、安全上的注意事项进行说明。

---

---

# 目录

---

---

- 1 章. IGBT 模块
  - 1-1. 型号的命名方法.....P1
  - 1-2. 制造批号的阅读方法.....P1
  - 1-3. 模块的基本构造.....P1
  - 1-4. IGBT 元件的构造.....P2
  - 1-5. IGBT 的等效电路和动作原理.....P2
  
- 2 章. 规格的记载事项
  - 2-1. 规格的记载事项.....P3
  - 2-2. 特性曲线.....P4
  - 2-3. IGBT 模块的用语和符号.....P5
  - 2-4. IGBT 模块的各特性定义图.....P6
  
- 3 章. 使用时的注意
  - 3-1. 降低额定值.....P7
  - 3-2. 缓冲电路.....P8
  - 3-3 门极驱动.....P11
  - 3-4. 动态雪崩.....P13
  - 3-5. 并联联结.....P14
  - 3-6. 计算功耗.....P18
  - 3-7. 热阻抗与散热设计.....P20
  - 3-8. 死区时间.....P22
  - 3-9. 短路保护.....P24
  
- 4 章. 安装时的注意事项
  - 4-1. 安装于 IGBT 模块的冷却片.....P25
  - 4-2. 安装于端子.....P27
  - 4-3. 安装环境.....P27
  - 4-4. 保管・搬运时的注意事项.....P27
  - 4-5. 针对静电破坏的注意事项.....P28
  - 4-6. IGBT 模块的电路配置、配线方法.....P28
  - 4-7. 测定时的注意事项.....P28
  
- 5 章. 可靠性
  - 5-1. 故障率.....P29
  - 5-2. 故障因子.....P29

5-3.	可靠性试验.....	P30
5-4.	质量保证体系图.....	P32
6 章.	故障时的应对	
6-1.	IGBT 模块的故障模式（电气故障模式）.....	P33
6-2.	产品检查方法.....	P34
7 章.	故障时的注意事项	
7-1.	警告事项.....	P35
7-2.	注意事项.....	P35

## 图目录

图号	名称	页号
图 1.1	IGBT 模块的基本构造	-1-
图 1.2	元件构造	-2-
图 1.3	等效电路	-2-
图 1.4	IGBT 的工作原理	-2-
图 2.1	IGBT 开关特性 ( $t_{on}$ 、 $t_{off}$ ) 的定义图	-6-
图 2.2	二极管反向恢复特性 ( $t_{rr}$ ) 的定义图	-6-
图 3.1	缓冲电路的种类和特征	-8-
图 3.2	下桥臂 IGBT 关闭模式	-8-
图 3.3	左图过渡状态的等效电路	-8-
图 3.4	使用缓冲电路时的 IGBT 电流 $I_c$ 、电压 VCE 波形	-9-
图 3.5	缓冲电路各部分的波形	-9-
图 3.6	IGBT 开关时的各电流、电压波形举例	-11-
图 3.7	门极电荷 (QG) 特性	-11-
图 3.8	驱动电压与门极电荷特性	-12-
图 3.9	关闭时的波形举例	-13-
图 3.10	发生动态雪崩的区域举例	-13-
图 3.11	并联联结模块与驱动电路的联结举例	-15-
图 3.12	并联联结时的主配线电感	-16-
图 3.13	不平衡电流的均等化	-16-
图 3.14	并联联结时的动作 (无缓冲电路)	-17-
图 3.15	并联联结时的动作 (有缓冲电路)	-17-
图 3.16	$I_c$ -VCE 特性图	-18-
图 3.17	SW. Loss- $I_c$ 特性图	-18-
图 3.18	IF-VF 特性图	-19-
图 3.19	温度测定位置	-20-
图 3.20	热等效电路	-20-
图 3.21	温度波动	-21-
图 3.22	过渡热阻抗	-21-
图 3.23	逆变工作时的温度波动	-21-
图 3.24	主电路构成举例 (上下桥臂单相构成)	-22-
图 3.25	控制信号、驱动电压以及 IGBT 集电极电压的关系	-22-

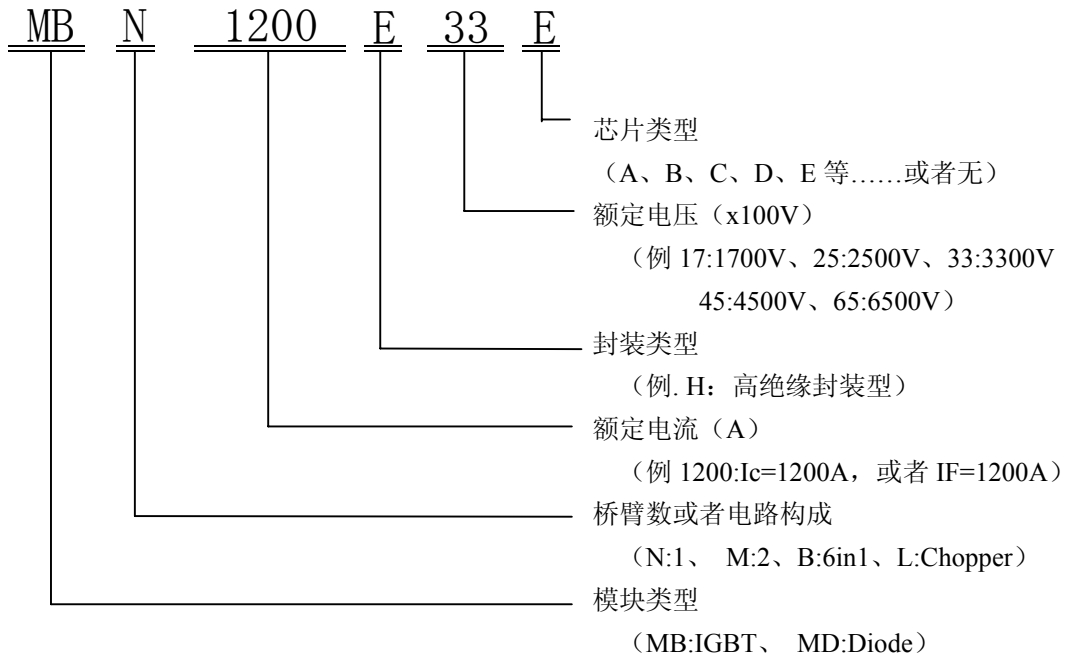
图 3.26	验证电路的构成（半桥电路） .....	-23-
图 3.27	控制信号与上下桥臂门极波形 .....	-23-
图 3.28	有无上下桥臂短路时的波形观测举例 .....	-23-
图 3.29	不同短路保护方式的电流电压波形的差异 .....	-24-
图 4.1	利用金属网涂布导热脂的方法 .....	-25-
图 4.2	<b>IGBT</b> 模块的拧紧顺序 .....	-26-
图 4.3	不恰当的散热板安装举例 .....	-26-
图 4.4	模块侧螺丝孔的截面图 .....	-27-
图 5.1	半导体器件的故障率（失效率曲线） .....	-29-
图 6.1	<b>IGBT</b> 模块的故障模式 .....	-33-

## 表目录

表号	名称	页号
表 2.1	规格书 (举例) .....	3-
表 2.2	特性曲线的项目 .....	4-
表 2.3	用语的符号与定义 .....	5-
表 3.1	短路保护方式的举例 .....	24-
表 4.1	<b>IGBT 模块安装部分的推荐扭矩值</b> .....	25-
表 4.2	推荐导热脂以及比重 .....	25-
表 4.3	推荐安装孔径及倒角值 (mm) .....	26-
表 4.4	安装螺丝端子部分时的扭矩 .....	27-
表 4.5	螺丝孔各部分的尺寸 .....	27-
表 5.1	故障原因 .....	29-
表 5.2	可靠性试验的种类和内容 .....	30-
表 5.3	可靠性试验的种类和试验条件 .....	31-
表 5.4	本公司质量保证体系图 .....	32-
表 6.1	元件特性的确认方法 (参考) .....	34-

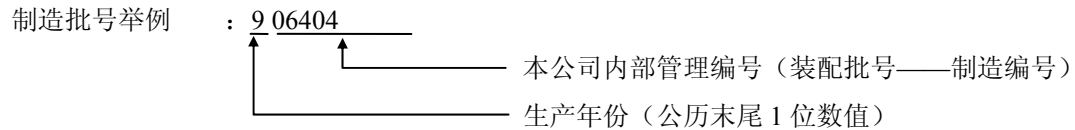
# 1 章. IGBT 模块

## 1-1. 型号的命名方法



## 1-2. 制造批号的阅读方法

在标注于模块产品的铭牌上, 除了上述型号之外, 还标注了以下制造批号。



## 1-3. 模块的基本构造

(例: 单相模块)

图 1.1 为单相模块的基本构造。

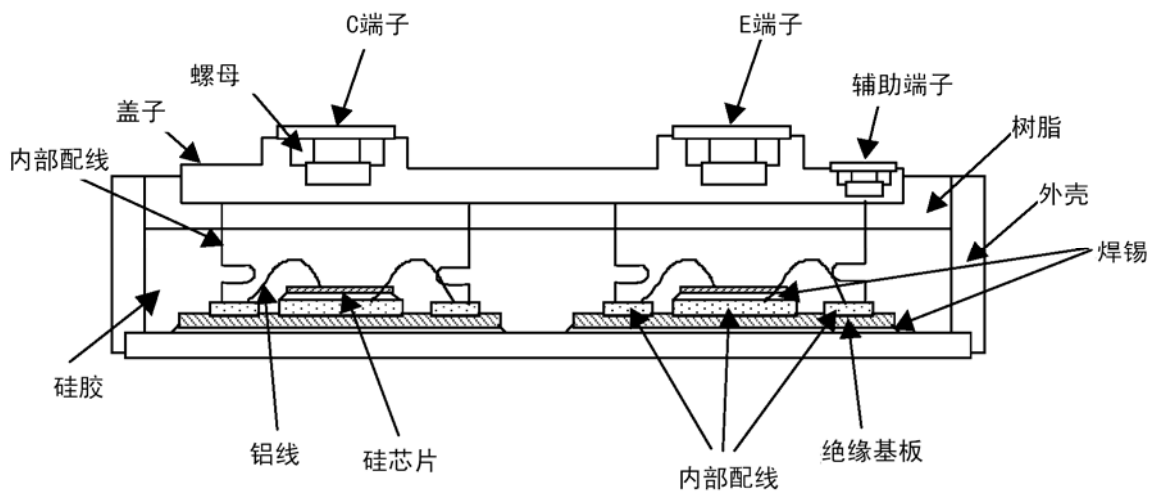


图 1.1 IGBT 模块的基本构造

### 1-4. IGBT 元件的构造

IGBT 的芯片构造，如图 1.2 所示。

IGBT 的构造，与功率 MOSFET (n 沟道) 极为相似。

功率 MOSFET 为 N-N 基板，IGBT 则为 P-N 基板。

通过增加 P+层，形成了寄生 pnp 三极管。

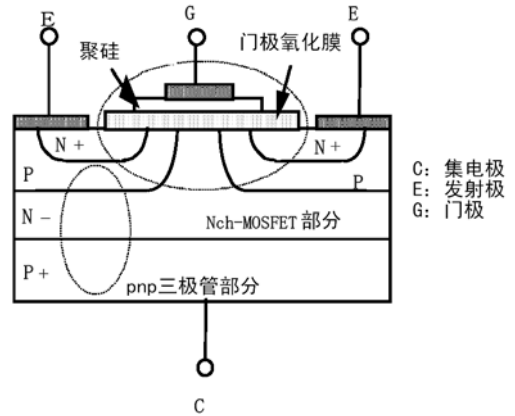


图 1.2 元件构造

### 1-5. IGBT 的等效电路和动作原理

#### 1-5-1. IGBT 的等效电路

IGBT 的等效电路符号，如图 1.3 所示。

符号、等效电路，如同图所示。

在等效电路中，npn 三极管的基极——发射极间阻抗被设计为极小，防止发生与 pnp 三极管联动后发生的闭锁现象。

IGBT 模块，通常并联联结 FWD，此时，二极管符号并联联结于 IGBT。

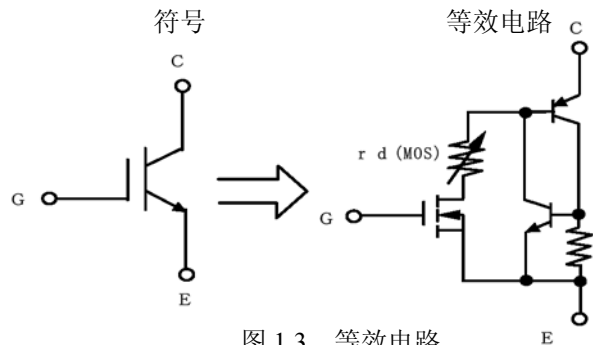


图 1.3 等效电路

#### 1-5-2. IGBT 的工作原理

IGBT 的工作原理，如图 1.4 所示。

通过向门极、发射极间附加电压，MOSFET 部分导通，MOSFET 的漏电流成为 pnp 三极管的基极电流流过。

由于该基极电流，pnp 三极管部分导通，IGBT 成为导通状态。

当门极、发射极间电压变为阈值电压以下（零或者负偏压）时，MOSFET 部分的漏电流成为零，pnp 三极管部分的基极电流同样成为零，IGBT 进入关断状态。

如上所述，IGBT 为 MOSFET 与 pnp 三极管的复合元件。由于构成于一个芯片，导通时会发生被称为传导率调制状态的现象，可极大减少电流导通时的阻抗。

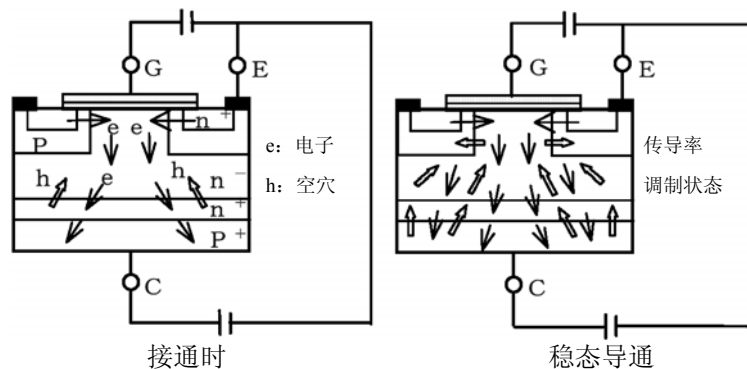


图 1.4 IGBT 的工作原理

## 2 章. 规格的记载事项

### ⚠ 注意

- 设计使用半导体器件的电子电路时，使用过程中无论外部条件如何变化，也不得超过该产品指定的“绝对最大额定”。此外，用于脉冲用途时，不得超过“安全工作区域（SOA）”的额定。

### 2-1. 规格的记载事项

表 2.1 为规格的举例。

(a) 绝对最大额定（表 2.1 中的①）

记载可导致元件损坏等的直接条件（电气使用条件、机械使用条件、热使用条件），在规定条件的基础上，采用最小值或者最大值表示安全范围。

（超过上述记载范围使用时，元件可能会损坏。）

(b) 电气特性（表 2.1 中的②）

在同一条件下规定代表元件功能的电气特性项目，采用最小值、标准值、最大值加以表示。大致上，分为静态特性（直流特性）、动态特性（开关特性）、热特性三种。

(c) 其他及注意事项（表 2.1 中的③以及④）

记载对应于最大额定的注意事项以及其他注意事项等。

表 2.1 规格书（举例）

**IGBT MODULE** Spec. No. IGBT-SP-05004 R6 1

# MBN1200E33E

Silicon N-channel IGBT 3300V E version

**FEATURES**

- \* Soft switching behavior & low conduction loss:  
Soft low-injection punch-through  
High conductivity IGBT.
- \* Low driving power due to low input capacitance MOS gate.
- \* Low noise recovery: Ultra soft fast recovery diode.
- \* High thermal fatigue durability:  
( $\Delta T_c = 70K, N > 30,000$  cycles)  
AISC base-plate/AIN substrate

**CIRCUIT DIAGRAM**

**TERMINALS**

**OUTLINE DRAWING** Unit in mm

Weight : 1300(g)

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** ( $T_c = 25^\circ C$ )

Item	Symbol	Unit	MBN1200E33E
Collector Emitter Voltage	$V_{CES}$	V	3,300
Gate Emitter Voltage	$V_{GES}$	V	$\pm 20$
Collector Current	DC	$I_C$	1,200
	1ms	$I_{C1}$	2,400
Forward Current	DC	$I_F$	1,200
	1ms	$I_{F1}$	2,400
Junction Temperature	$T_J$	$^\circ C$	-40 ~ +125
Storage Temperature	$T_{STG}$	$^\circ C$	-40 ~ +125
Isolation Voltage	$V_{ISO}$	$V_{RMS}$	6,000 (AC 1 minute)
Screw Torque	Terminals (M4/M8)	N·m	2/15 (1)
	Mounting (M6)		6 (2)

Notes: (1) Recommended Value 1.8±0.2/15<sup>±0.3</sup>N·m (2) Recommended Value 5.5±0.5N·m

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Item	Symbol	Unit	Min.	Typ.	Max.	Test Conditions
Collector Emitter Cut-Off Current	$I_{CES}$	mA	-	-	12	$V_{CE} = 3,300V, V_{GE} = 0V, T_J = 25^\circ C$
Gate Emitter Leakage Current	$I_{GES}$	nA	-500	-	+500	$V_{CE} = \pm 20V, V_{GE} = 0V, T_J = 25^\circ C$
Collector Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	V	3.0	3.5	4.2	$I_C = 1,200A, V_{GE} = 15V, T_J = 125^\circ C$
Gate Emitter Threshold Voltage	$V_{GE(th)}$	V	4.5	6.0	7.0	$V_{CE} = 10V, I_C = 1,200mA, T_J = 25^\circ C$
Input Capacitance	$C_{ies}$	nF	-	110	-	$V_{CE} = 10V, V_{GE} = 0V, f = 100kHz, T_J = 25^\circ C$
Internal Gate Resistance	$R_{ge}$	$\Omega$	-	1.3	-	$V_{CC} = 1,650V, I_C = 1,200A$
Switching Times	Rise Time	$t_r$	1.1	2.1	3.1	$L = 100nH$ $R_G = 3.9/3.9\Omega$ (3) $V_{GE} = \pm 15V, T_J = 125^\circ C$
	Turn On Time	$t_{on}$	1.7	2.5	3.3	
	Fall Time	$t_f$	1.3	2.2	3.1	
	Turn Off Time	$t_{off}$	2.7	4.2	5.7	
Peak Forward Voltage Drop	$V_{FM}$	V	2.0	2.5	3.0	$I_C = 1,200A, V_{GE} = 0V, T_J = 125^\circ C$
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$\mu s$	0.2	0.7	1.2	$V_{CC} = 1,650V, I_C = 1,200A, L = 100nH, T_J = 125^\circ C$
Turn On Loss	$E_{on(100\%)}$	J/P	-	1.7	2.2	$V_{CC} = 1,650V, I_C = 1,200A, L = 100nH$
Turn Off Loss	$E_{off(100\%)}$	J/P	-	1.9	2.4	$R_G = 3.9/3.9\Omega$ (3)
Reverse Recovery Loss	$E_{r(100\%)}$	J/P	-	1.6	2.1	$V_{GE} = \pm 15V, T_J = 125^\circ C$
Stray inductance module	$L_{sCE}$	nH	-	12	-	
Thermal Impedance	IGBT	$R_{th(j-c)}$	-	-	0.0085	Junction to case
	FWVD	$R_{th(j-c)}$	-	-	0.017	
Contact Thermal Impedance	$R_{th(c-f)}$	K/W	-	-	0.006	Case to fin

Notes: (3)  $R_G$  value is the test condition's value for evaluation of the switching times, not recommended value.  
Please, determine the suitable  $R_G$  value after the measurement of switching waveforms (overshoot voltage, etc.) with appliance mounted.

规格管理编号

元件型号

①

③

②

④

## 2-2. 特性曲线

IGBT 模块具有代表性的特性曲线的项目、内容和使用目的，如表 2.2 所示。

表 2.2 特性曲线的项目

No.	特性曲线的项目	特性的内容	使用目的
1	集电极电流——集电极·发射极间电压特性 <Ic-VCE>	表示集电极——发射极间电压与集电极电流之间的关系。 参数，为门极——发射极间电压。	用于计算 IGBT 导通后产生的功耗。 使用 125°C 时的数据。
2	集电极·发射极间电压——门极·发射极间电压特性 <VCE-VGE>	表示集电极——发射极间电压与门极——发射极间电压的关系。 参数，为集电极电流。	表示使 IGBT 导通的门极——发射极间电压的必需范围。 通常，使用 VGE=15V。
3	门极电荷特性 <VGE-QG>	表示门极充电电荷量与门极——发射极间电压的关系。	表示驱动 IGBT 所必需的电荷量，用于计算与驱动电路的输出有关的电源容量。
4	二极管正向电压特性 <IF-VF>	表示模块内置二极管的正向特性。	用于计算内置二极管导通后产生的功耗。 使用 125°C 时的数据。
5	开关时间——集电极电流特性 <Ic-t>	表示 IGBT 导通、关闭各开关时间的集电极电流相关性。	验证对开关时间的影响参数。特别用于产生于上下桥臂驱动的非搭接期间(死区时间)的设定。
6	开关时间——门极阻抗特性 <Ic-RG>	表示 IGBT 导通、关闭各开关时间的门极阻抗相关性。	同上
7	开关功耗——集电极电流特性 <SW. Loss-t>	表示 IGBT 导通、关闭各开关所产生能量值的集电极电流相关性。	用于计算开关所产生的功耗。 为电感负载电路中每一脉冲的产生能量，用于根据开关频率(载波频率)计算功耗。
8	开关功耗——门极阻抗特性 <SW. Loss-RG>	表示 IGBT 导通、关闭各开关所产生能量值的门极阻抗相关性。	同上

## 2-3. IGBT 模块的用语和符号

表 2.3 用语的符号与定义

用语	符号	定义
集电极·发射极间电压	VCES	直接短路门极·发射极间时,可附加于集电极·发射极间的最大电压值。
门极·发射极间电压	VGES	直接短路集电极·发射极时,可附加于门极·发射极间的最大电压值。
集电极电流	IC	在集电极功耗的允许限度内,可连续流向集电极的直流电流的最大值。
集电极功耗	PC	在规定温度条件下,可连续消耗于元件的集电极功耗的最大值。
结温度	Tj	作为额定基准规定的联结部分温度,在元件工作时的允许范围内表示。但是,环境温度必须在 Tstg 范围内。
保存温度	Tstg	即使暴露于该温度,也不会导致电气特性出现异常的范围。
拧紧扭矩	-	在冷却片或者支撑物用螺丝、螺栓等安装元件时,在螺纹部分以及接触部分使用指定的导热值后允许的最大扭矩值。 在端子部分使用螺丝、螺栓等安装配线材料时,允许的最大扭矩值。
集电极·发射极间断路电流	ICES	在指定条件下,在断路状态的集电极·发射极间附加电压时,流向集电极的电流。但是,门极·发射极间条件为直流短路状态时。
门极·发射极间漏电流	IGES	在指定条件下,在门极·发射极间附加电压时,流向门极的电流。但是,集电极·发射极间条件为直流短路状态时。
集电极·发射极间饱和电压	VCE (sat)	在指定条件下,当集电极电流通电时,饱和状态下的集电极·发射极间电压。 在具体产品中,由于端子构成的差异,有时为集电极·发射极各主端子间电压,有时为集电极读出端子·控制用发射极端子间电压。
阈值电压	VGE (TO)	在指定条件下,在门极·发射极间附加电压,开始流过集电极电流时(阈值区域)的门极·发射极间电压。开始流动时的集电极电流,定义为额定的 1000 分之 1。
输入电容值	Cies	指定条件下的门极·发射极间端子间电容值。
反馈电容值	Cres	指定条件下的门极·集电极间端子间电容值。
输出电容值	Coes	指定条件下的集电极·发射极间端子间电容值。
导通时间	ton	指定条件下,从门极电压达到正向偏压最大振幅的 10% 开始,至元件过渡为导通状态,集电极·发射极间电压变为初始值 10% 的时间。
导通死区时间	td (on)	从门极电压达到正向偏压最大振幅的 10% 开始,至集电极·发射极间电压变为初始值的 90% 的时间。
上升时间	tf	集电极·发射极间电压,从初始值的 90% 变为 10% 的时间。
关闭时间	toff	在指定条件下,从门极电压达到正向偏压最大振幅的 90% 开始,至元件过渡为关闭状态,集电极电流变为初始值的 10% 的时间。
关闭死区时间	td (off)	从门极电压达到正向偏压最大振幅的 90% 开始,至集电极电流变为初始值的 90% 的时间。
下降时间	tr	集电极电流从初始值的 90% 变为 10% 的时间。
热阻抗	Rth (j-c)	在连续通电的热稳定状态下,联结部分——外壳间温差的联结部分单位电力消耗的平均值,单位为 $\square/W$ 。
反向恢复时间(二极管)	trr	在指定电路以及温度条件下,二极管反向恢复电流消失所需的时间。
正向电流(二极管)	IF	在指定条件下,流向模块内部二极管(FWD)正向方向的电流。
正向电压降(二极管)	VF	在指定条件下,二极管流过正向电流(IF)时的发射极(阳极)、集电极(阴极)各端子间的电压降。

## 2-4. IGBT 模块的各特性定义图

(1) IGBT 各开关特性的波形定义，如图 2.1 所示。

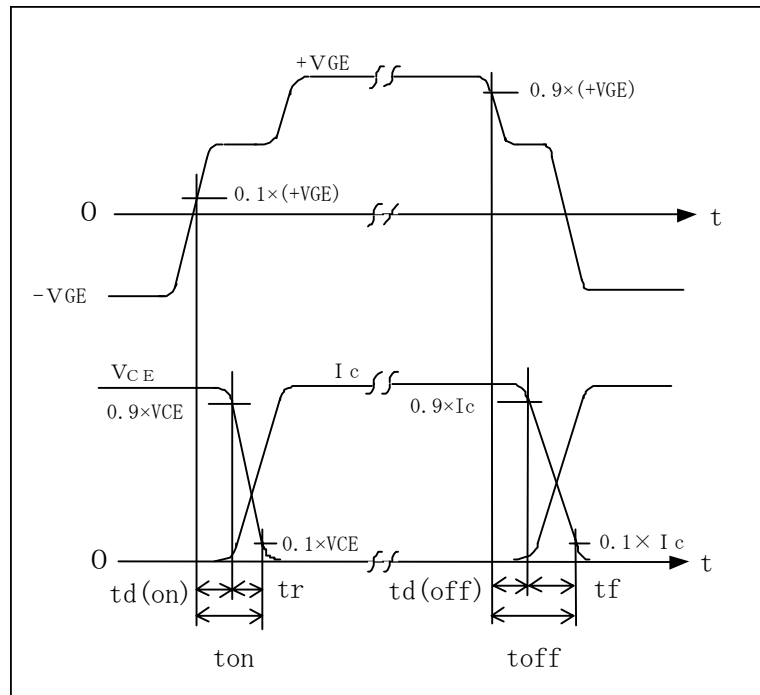
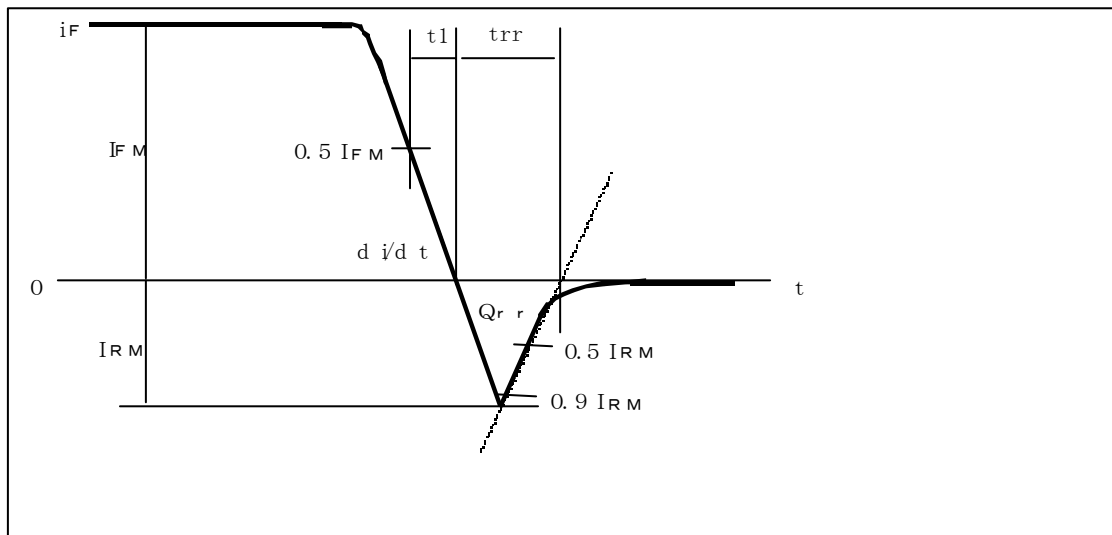


图 2.1 IGBT 开关特性 (ton、toff) 的定义图

(2) 二极管反向恢复特性的波形定义图，如图 2.2 所示。



$$Q_{rr} \equiv \frac{1}{2} t_{rr} I_{RM} \quad di/dt \equiv \frac{0.5 I_{FM}}{t_1}$$

图 2.2 二极管反向恢复特性 (trr) 的定义图

## 3 章. 使用时的注意

### 3-1. 降低额定值

为确保元件的可靠性，如下所述，请降低额定值后使用。

尽管以下的示例为三相逆变，但是相对于额定值的降额，同样适用于其他应用。

- (1) 电压：稳态时，元件额定 VCES 的 80% 以下（峰值电压）  
元件额定 VCES 的 50~60% 以下（直流电压）  
最大时（非稳态时），元件额定 VCES 的 90% 以下（峰值电压）  
应用于逆变时，元件的电压额定与电源电压（输入 AC 线路电压）的关系，依照以下公式。

$$VCES = V_{in} \times \sqrt{2} + V_s + V_{reg} + \alpha \quad \text{----- (1)}$$

VCES: 元件额定电压

V<sub>in</sub>: 输入电压（交流电压）

V<sub>s</sub>: 浪涌电压（上冲量）

V<sub>reg</sub>: 产生于再生等的直流电压的增加量

α: 设计余量、安全率

- (2) 电流：稳态时，元件额定直流电流的 50~60% 以下（重复电流峰值）  
最大时（非稳态时），元件额定直流电流的 90% 以下（重复电流峰值）  
但是，根据结温度考虑降额时，电流也应同样进行降额。  
此外，规格中的 1ms 额定电流（I<sub>cp</sub>），为已经包括回流二极管反向恢复时的恢复电流（数 μs 以下）的峰值电流值，并且已经考虑到了发生事故时负载短路时的保护等。因此，不可用于负载短路时的保护等发生事故时残留热死区等的场合。  
可根据以下公式，选择已经考虑到降额的元件的额定直流电流（集电极电流额定）。

$$I_p = P_{inv} \times \kappa \div V_{ac} \div \sqrt{3} \times \sqrt{2} \times \lambda \quad \text{----- (2)}$$

$$I_c > I_p \div \beta \quad \text{----- (3)}$$

I<sub>p</sub>: 峰值电流

P<sub>inv</sub>: 逆变容量

κ: 过负载率

V<sub>ac</sub>: 交流电压

λ: 电流波动率

I<sub>c</sub>: 元件的额定直流电流（集电极电流额定）

β: 降额因子

- (3) 结温度：稳态时，额定结温度（最大值）的 80% 以下  
最大时（非稳态时），额定结温度（最大值）的 90% 以下  
外壳温度，请在 100℃ 以下使用。  
此外，结温度 T<sub>j</sub> 与外壳温度 T<sub>c</sub> 的重复温度变化，随着其重复次数，可导致模块内部材料产生应力，导致元件寿命下降，请注意。  
详细，请参照 3-7 项“热阻抗与散热设计”。

### 3-2. 缓冲电路

加缓冲电路，指当开关产品关闭时，为保护开关产品免受来自电路配线电感蓄积能量导致的过电压的冲击而加入的电路。通常情况下，分为由 C、R 构成的非极性型以及增加了二极管的有极性型。IGBT，采用了抑止浪涌电压效果明显的有极性型。但如果已极大降低主电路的配线电感，将浪涌电压的峰值降低至元件最大额定的 80% 以下，有时也可以不使用缓冲电路。

#### 3-2-1. 缓冲电路的种类与特征

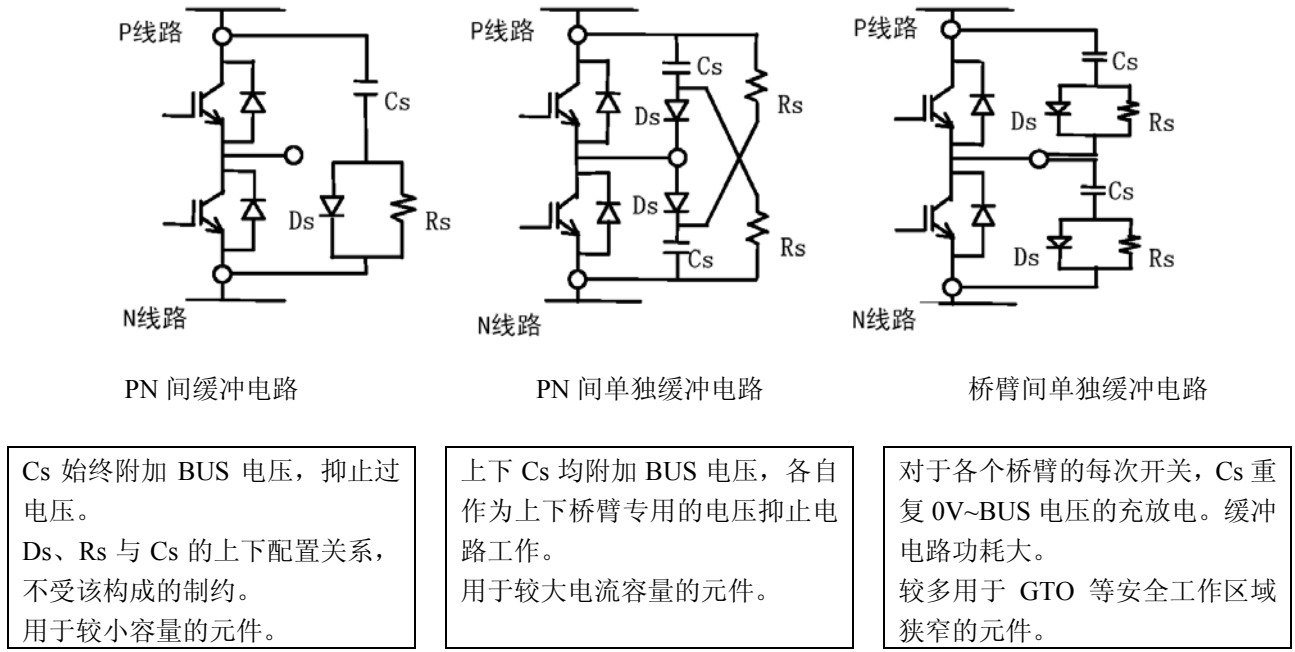


图 3.1 缓冲电路的种类和特征

#### 3-2-2. 缓冲电路的工作

图 3.2 为表示下桥臂 IGBT 关闭时过电压发生模式的电路。图 3.3 为发生过电压时过渡状态的等效电路。

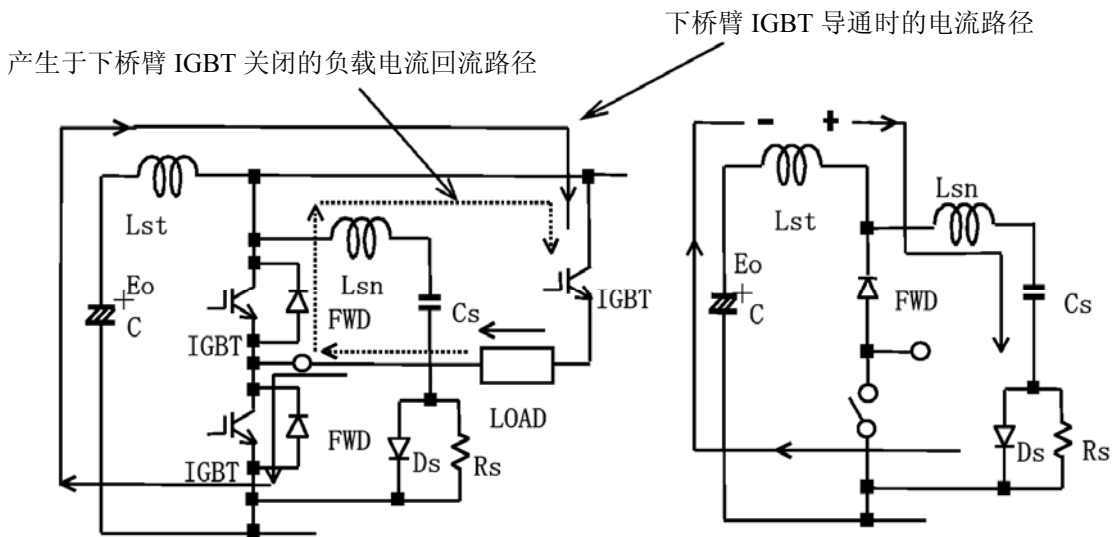


图 3.2 下桥臂 IGBT 关闭模式

图 3.3 左图过渡状态的等效电路

图 3.3，表示原先导通的下桥臂 IGBT 关闭后电流路径的变化。

随着下桥臂 IGBT 关闭，负载电流通过上桥臂侧的 FWD 回流。如果没有缓冲电路，蓄积于  $L_{st}$  的能量将失去释放场所，将作为过电压附加于下桥臂 IGBT。

通过附加缓冲电路，如图 3.3 所示， $L_{st}$  的蓄积能量被缓冲电路的电容器  $C_s$  吸收，表现为电压。

借助上述动作，抑止了产生于  $L_{st}$  的过大浪涌电压。

不过，事实上缓冲电路也存在着配线电感  $L_{sn}$ ，在 IGBT 的下降期间，会出现若干过电压。

### 3-2-3. 关于使用缓冲电路时的电流电压波形

以下，对如图 3.2 所示电路中 IGBT 关闭模式时的电流、电压波形进行研究。

图 3.4 表示 IGBT 元件关闭时 IGBT 的电流和电压波形。

通过使用缓冲电路，产生于配线电感  $L_{st}$  的浪涌电压，被抑止为  $E_o + \Delta V$ 。

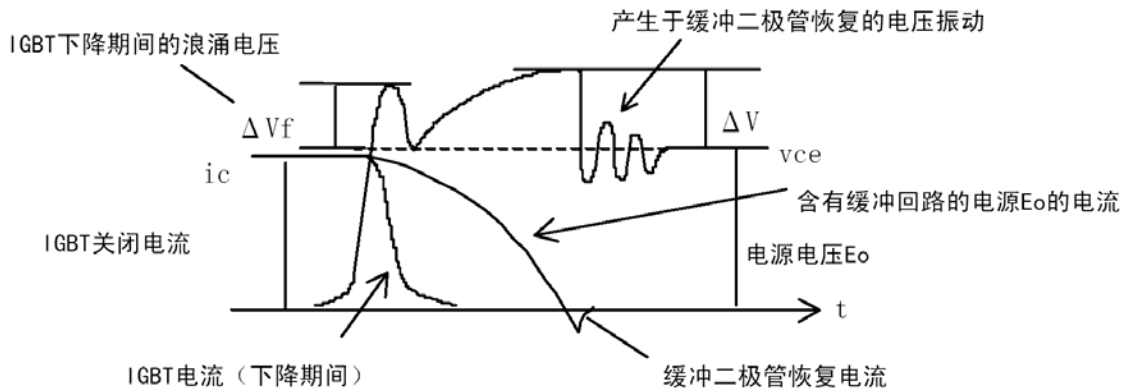


图 3.4 使用缓冲电路时的 IGBT 电流  $I_c$ 、电压  $V_{CE}$  波形

图 3.5 为缓冲电路工作时缓冲二极管  $D_s$  的电流 ( $i_{Ds}$ )、电压 ( $v_{Ds}$ ) 波形，各个项目可以利用以下公式计算出概略。

$$T_s = \frac{2\pi\sqrt{L_{st} \times C_s}}{4} \dots\dots (1)$$

$$\Delta V = I_c \times \sqrt{\frac{L_{st}}{C_s}} \dots\dots (2)$$

$I_c$  为 IGBT 关闭电流值

$$\Delta V_f = L_{sn} \times di_c/dt + V_{fr} \dots\dots (3)$$

上式中， $L_{sn}$  为来自 IGBT 集电极发射极端子的缓冲电路电感值， $V_{fr}$  为二极管正向恢复电压（约 50V 左右）， $di_c/dt$  为下降期间的电流变化率。

$$T_n \approx 3 \times C_s \times R_s \dots\dots (4)$$

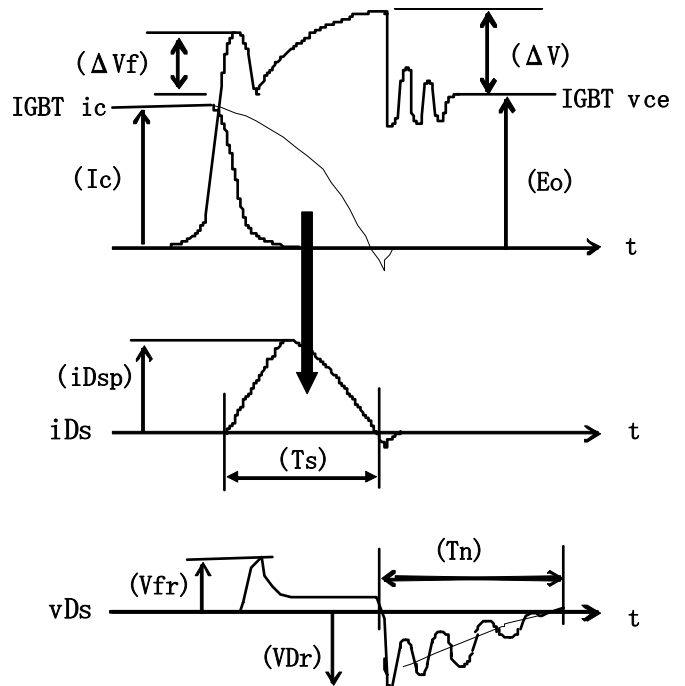


图 3.5 缓冲电路各部分的波形

上式中， $T_n$  表示用于释放  $C_s$  过充电电压 95% 所需要的时间。

$R_s$ ，选择为  $T_s + T_n < 1/f_c$ 。

采用上述公式，三相电路时，公式 (1) 中的  $T_s$  为  $\sqrt{3}$  倍，公式 (2) 中的  $\Delta V$  为  $1/\sqrt{3}$ 。

(其他相位的缓冲电路同样有效)

### 3-2-4. 集电极电流等级与缓冲电容器容量

假设开关电流最大值为  $I$ ，电压上升量为  $\Delta V$  时的缓冲电路电容器容量  $C_s$ ，可利用以下公式求取。

$$C_s \cong L_{st} \cdot \left( \frac{I}{\Delta V} \right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

- 缓冲电容器，请使用频率特性良好的聚酯薄膜电容器或者油浸电容器。
- 如果电容器的导线过细等，受到充放电电流影响，导线部分会变为高温，请注意。

### 3-2-5. 缓冲阻抗

阻抗的容量，随电容器容量、IGBT 的驱动频率而变化。

假设使用对缓冲进行过充电的电压  $\Delta V$ ，如下所示，关闭电流  $I$  时产生的能量  $\varepsilon_{SN}$ ，将几乎被缓冲阻抗所消耗。

$$\varepsilon_{SN} = 0.5 \times C_s \times \Delta V^2 \dots\dots\dots (6)$$

阻抗值，可采用以下公式求取，必须使 IGBT 关闭时的集电极电流不会出现振动。

$$R_s \cong 2 \sqrt{\frac{L_{sn}}{C_s}} \dots\dots\dots (7)$$

$L_{sn}$ : 缓冲配线的电感

此外，由于  $R_s$  成为释放被  $C_s$  过充电的  $\Delta V$  的阻抗，请注意上限值 ( $C_s$  的电压  $\Delta V$ ，受载波频率的影响，请快速放电)。

### 3-2-6. 缓冲二极管

缓冲二极管，应该与 IGBT 的耐压为同一等级或者在其等级之上，请使用电流容量 (或者电流额定) 为 IGBT 的 10 分之 1~5 中 1 以上的元件。

二极管，请使用高速规格。反向恢复特性呈硬恢复倾向的二极管，可能会导致 IGBT 关闭时的集电极电压出现高频波动，请注意。

### 3-3 门极驱动

#### 3-3-1. IGBT 的门极电流与门极电荷量

图 3.6 为驱动 IGBT 元件时各电流、电压波形的举例。

此时，无论导通时或关闭时，作为控制端子的门极、发射极间，将流过为 IGBT 的输入电容（ $C_{ies}$ ）和恢复电容（ $C_{res}$ ）充电以及放电的电流。

利用上述门极电流的时间积，也就是门极电荷量的移动，门极、发射极间电压变为规定的正向偏压以及负偏压电压。

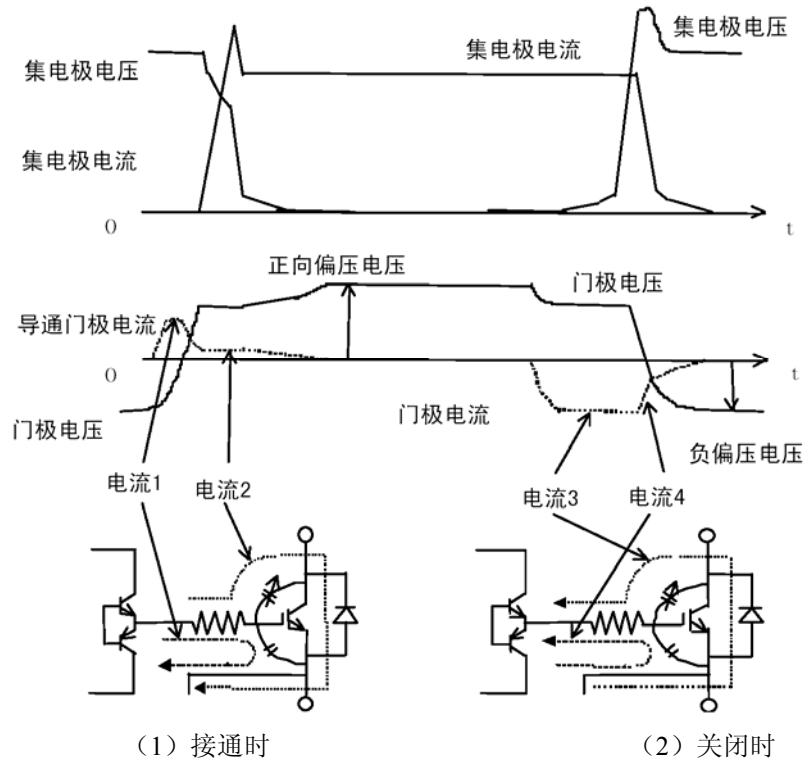


图 3.6 IGBT 开关时的各电流、电压波形举例

#### 3-3-2. IGBT 的门极电荷特性（QG 特性）

门极电荷（QG）与门极电压的关系，如图 3.7 所示。

如图 3.7 所示，门极电荷特性，大致可分为以下 A~C 三个区域。

A: 该部分为门极电压与元件的输入电容（ $C_{ies}$ ），决定了电荷量。

尚未流过集电极电流的期间。

B: 该部分，体现为产生于元件恢复电容（ $C_{res}$ ）的对称效应。

门极、发射极间电压不会发生变化，仅集电极、发射极间电压发生变化。门极电流值为恒定，其数值由驱动输出电压和门极阻抗所决定。

C: 集电极、发射极间电压几乎接近饱和电压，恢复电容（ $C_{res}$ ）几乎达到最大值的区域。恢复电容与输入电容并列，门极·发射极间静电容量为最大值（大约为输入容量  $C_{ies}$  值的 2 倍）。

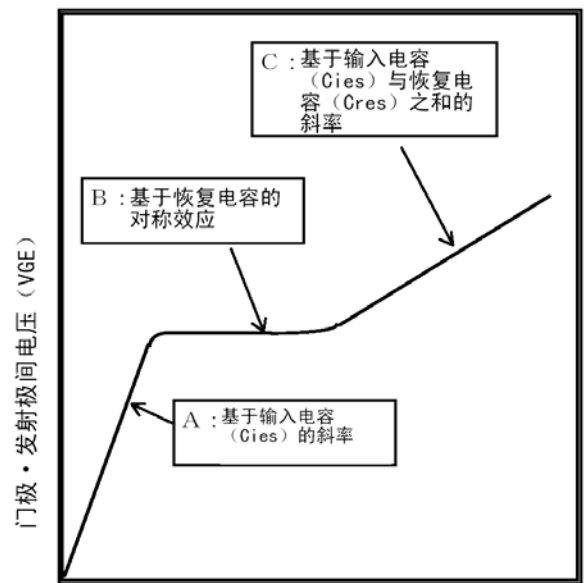


图 3.7 门极电荷（QG）特性

### 3-3-3. 门极驱动功耗

可以根据门极电荷特性，计算出伴随于 IGBT 元件开关的驱动电路的消耗电力。

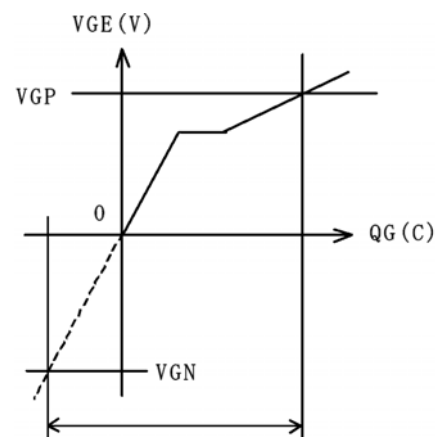
相对于图 3.7 的门极电荷特性，图 3.8 为门极·发射极间电压的负偏压电压区域，VGP 为正向偏压电压值，VGN 为负偏压电压值。

伴随于从 VGN 过渡为 VGP (=导通) 以及从 VGP 过渡为 VGN (=关闭)，电荷量如图 3.8 所示，采用 QGO 值的形式发生变化。此时的驱动电路电力 PG，如果假设开关频率为 fc，可采用以下公式进行计算。

$$PG = (VGP + |VGN|) \times QGO \times fc \text{ ----- (1)}$$

用于上述开关的电力，由驱动电路电源供给，请在设计电源电路时加以充分考虑。

特别是无法实现稳定化，进行调节后导致电压下降时，甚至可使 IGBT 元件损坏，请注意。



门极电荷 QGO

图 3.8 驱动电压与门极电荷特性

### 3-3-4. 驱动电压

IGBT 的驱动电压，分别利用正向偏压电压与负偏压电压进行设定。

正向偏压，如果电压过低可致导致导通功耗增加，过高可增加发生事故时的短路电流等，造成各种不良影响，请恰当选择其范围。

正向偏压电压，在 IGBT 工作期间，请选择为  $15V \pm 10\%$ 。

负偏压电压，需要防止由于其他桥臂的开关等引起的误动作（误导通），请设定为在  $-5V \sim -15V$  的范围内。

### 3-3-5. 下桥臂侧驱动电路电源的注意事项

在单相或者类似三相电路那样具有多相的应用时，请设置独立的下桥臂侧驱动电路电源。

下桥臂侧的发射极为稳定状态，在电气上表现为同电位，当 IGBT 开关时，下桥臂侧的主电路配线部分会产生高感应电压，该电压可致导致他相 IGBT 的开关增加延迟时间等，造成不良影响。

IGBT 集电极电流的时间变化率 ( $di/dt$ )，可能会变为数千  $A/\mu s$ ，构成下桥臂侧主电路的数十 nH 的电感，可引发数十伏的电压。

共用下桥臂侧驱动电路电源时，来自于主配线的电压，可通过共用驱动电路电源和共用配线，作为噪声出现于其他相 IGBT 下桥臂侧门极·发射极间，导致误动作以及开关不稳定。

### 3-3-6. 门极·发射极间阻抗 (RGE)

与 MOSFET 相同，IGBT 为电压驱动型元件，门极·发射极间的阻抗极高。

类似这样的元件，当未联结驱动器，或者门极电压的偏压状态受到驱动侧输出阻抗的影响等变得不稳定时，通过附加集电极电压，可变为“接通时”状态。

特别是接通、断开主电路电源，控制电路电源处于不确定状态时，请加以注意。

在上述场合，可采用在 IGBT 模块的控制端子（门极·发射极）间，联结数  $k\Omega \sim$  数  $+k\Omega$  的阻抗 RGE，确定 IGBT “关闭”的方法（请进行现场实际确认）。

此外，联结 RGE 时，可出现电流持续导通导致的驱动电路电源电压下降，以及与门极阻抗 RG 的分压导致的门极·发射极间电压下降，请加以注意。

### 3-4. 动态雪崩

关闭 IGBT 后，VCE 上升，到达某一电压以上后，电压不再上升，处于抑止状态。（参考图 3.9）

上述现象，被称为动态雪崩。以下，对此加以简单说明。当 IGBT 关闭时，MOSFET 的沟道被关闭，电流开始减少。当残留于元件内的载波消失时，由于载波通过元件内部的高电场，与硅原子发生碰撞电离，并产生电子和空穴对。

上述电子、空穴，继续与其他硅原子发生撞击，不断产生出电子、空穴。这就是动态雪崩。

一旦发生动态雪崩，电流衰减变得缓慢，VCE 上冲电压受到抑止。发生动态雪崩时的电压，由于电压而各不相同。其一个举例，如图 3.10 所示。

发生动态雪崩后，IGBT 并不一定会立即损坏。但是，关闭功耗增大后，最后由于闭锁，IGBT 被损坏。

因此，关闭时，请在图 3.10 的范围内使用。

此外，该范围会随着温度而发生变化，特别是低温时，区域会变得狭窄，请加以注意。

动态雪崩，尚存在着单项条件，请同时加以注意。

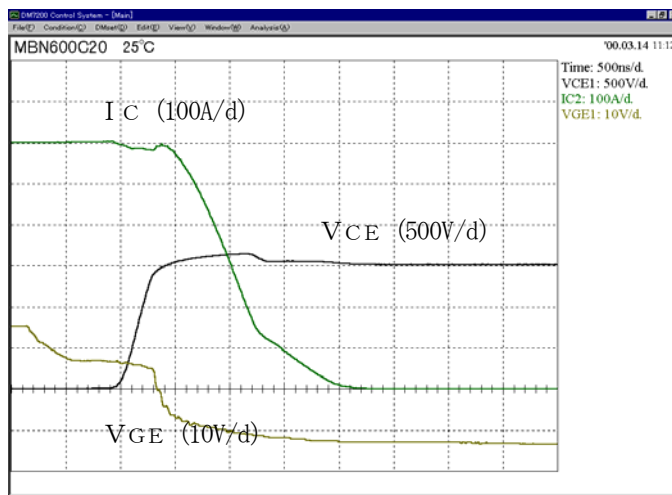


图 3.9 关闭时的波形举例

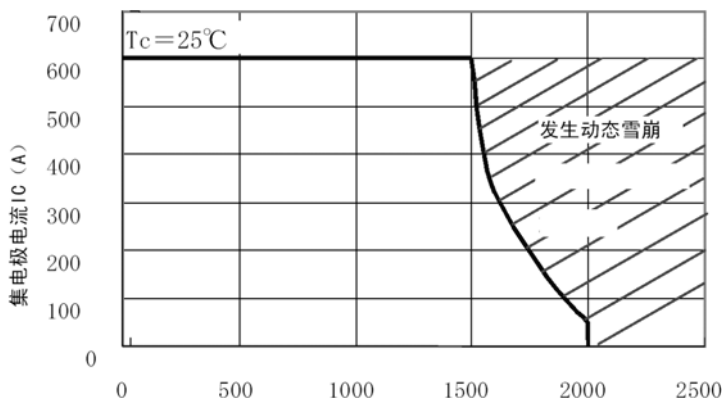


图 3.10 发生动态雪崩的区域举例

### 3-5. 并联联结

#### 3-5-1. 饱和电压范围 ( $\Delta V_{CE(sat)}$ ) 与电流不平衡率的关系

并联高耐压 IGBT 使用时, 本公司原则上成对提供  $V_{CE(sat)}$  相近的器件。但是, 上述成对条件, 并不能保证并联联结。由于产生于装置物理构造的配线电感的不平衡、门极驱动电路及驱动条件, 可能会产生不平衡。因此, 请事先进行评价。详细情况, 将协商后决定。

以下, 为并联联结时电流不平衡率  $\alpha$  的定义。

$$\alpha = \left( \frac{I_{c'}}{(I_{total} \div 2)} - 1 \right) \times 100 (\%) \quad \dots\dots (1)$$

上式中,  $I_{c'}$ : 1 元件的电流值

$I_{total}$ : 2 产生于并联联结的总电流

本定义, 通常适用于额定电流值时。同一元件时, 不平衡率  $\alpha$  会由于总电流值会发生很大差异, 请注意 (小电流时,  $\alpha$  会变大)。

此外, 串联结时, 由于电压分担难以均等, 可能会附加超出元件耐压的过电压。因此, 除了  $V_{CE(sat)}$  等静态特性外, 还必须兼顾  $t_d(on)$ 、 $t_d(off)$  等动态特性, 需要有维持串连元件间电压平衡的电路、分压阻抗和缓冲电路等。

#### 3-5-2. 关于并列数和电流降低率

虽然并列数并没有限制, 但是, 请考虑硬件大小以及与此相关的电感量上升等不良影响 (浪涌电压等)。采用高耐压 IGBT 时, 现实上最多为~4 并列。

假设并列数为  $n$ , 考虑到最差条件 (电流集中于其中的一个元件) 时的电流降低率  $R$ , 可以采取以下公式计算。该公式中,  $\alpha$  表示先前介绍的电流不平衡率。

$$R = \frac{1 + (n - 1) \times \left( 1 - \frac{\alpha}{100} \right)}{n} \div \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \right) \times 100 (\%) \quad \dots\dots (2)$$

计算举例: 并列 4 个额定 600A 的元件使用时, 假设  $\alpha$  为 15%,  $R=80.4\%$ 。

因此, 此时的总电流为:

$$600A \times 4 \text{ 并列} \times 0.804 = 1929 (A)。$$

### 3-5-3. 并联联结时的注意事项

#### (1) 并联联结时必须注意的基本事项

通常情况下，并联联结时必须注意的基本事项，为以下两点。

- (a) 为抑止稳态时的电流不平衡率，应组合 VCE (sat) 差较小的元件。
- (b) 为抑止导通、关闭等过渡时的电流不平衡率，应降低元件并列布局时的配线不平衡。

#### (2) 单个桥臂时的驱动装置数

驱动并联联结的元件时，已经含有部分信号处理电路（光耦合器、放大器以及过电流保护电路等）的驱动装置，无论有几个 IGBT 并列，请采用单个驱动装置。

上述方法，可回避由每个驱动装置的输出延迟时间等偏差对并列动作的不良影响。

#### (3) 并联联结时的门极阻抗联结法

驱动装置与被并联联结元件之间的联结，为抑止容易在开关时发生的门极电压振动，如图 3.11 所示，请采用在各模块间联结门极阻抗的联结方法。对于图 3.11，请注意以下各点。

- (a) 驱动装置的输出配线应成对，以降低阻抗。
- (b) 存在于下图配线电路 A、B 的电感 (Lgst) 应尽量相同，并尽量降低其数值。  
(上述 (a) 和 (b)，用于防止产生于主电路开关时的感应的不良影响。)
- (c) 上述门极电压振动，出现于导通、关闭各开关时。

特别是关闭后的门极电压振动，可导致误导通，引发桥臂短路等不良。

为防止振动，门极阻抗 RG 与电路电感 Lgst 之间，请注意保持公式 (1) 的关系。该公式中，Cies 为 IGBT 的门极输入容量。

$$2 \times RG > 2 \sqrt{\frac{Lgst \times 2}{Cies/2}} \quad (1)$$

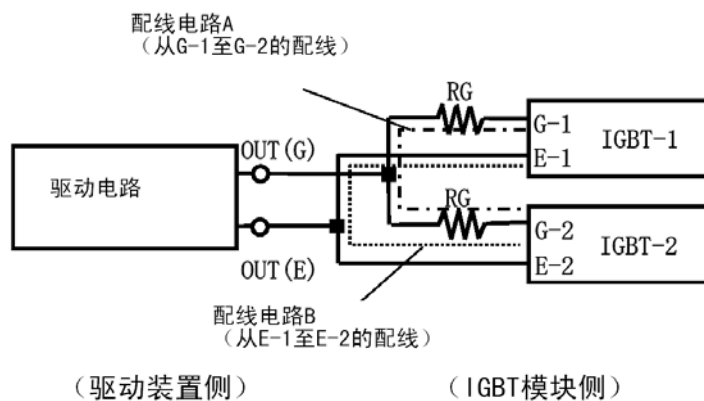


图 3.11 并联联结模块与驱动电路的联结举例

### 3-5-4. 主电路配线的对称性以及必要性

#### (1) 主配线的均等化

请分别保持并列联结 IGBT 集电极侧配线、发射极侧配线的均等，保持各电感的平衡。

图 3.12，为以 2 个并列为例，包括主电路配线电感在内的并列电路构成图。在该图中，

LCA; IGBT (A) 的集电极侧配线电感

LCB; IGBT (B) 的集电极侧配线电感

LEA; IGBT (A) 的发射极侧配线电感

LEB; IGBT (B) 的发射极侧配线电感

当 IGBT (A)、以及 (B) 导通后，各集电极电流导通时的电流，受上述配线电感偏差的影响。

该电流平衡，基本上由电感比决定，因此，必须确保配线的对称性 (=保持配线电感的一致。)

例如，在图 3.12 中，(A) 侧、(B) 侧的配线平衡为：

$$(LCA + LEA) < (LCB + LEB)$$

此外，假设 (A) 侧 IGBT 的  $V_{CE}(\text{sat})$  小于 (B) 侧的  $V_{CE}(\text{sat})$  时，此时的电流分担如图 3.13 所示。

示。

特别是发射极侧配线 LEA、LEB 的不平衡，会影响到 IGBT 的门极电压，增加电流不平衡，请加以注意。

出现上述现象的原因是：开关时会在 LEA、LEB 产生感应电压，产生于不平衡的感应电压之差，会从不方向对并列 IGBT 的门极·发射极间附加偏压。

#### (2) 产生于主配线的电流不平衡的发生期间

如图 3.13 所示，产生于导通时的电流不平衡，在 IGBT 导通稳态时被均等化，平衡为由  $V_{CE}(\text{sat})$  决定的数值  $I_{cA}$ 、 $I_{cB}$ 。用于不平衡电流均等化的时间，可作为构成并列电路的闭路电路内的电感，以及产生于 IGBT 元件工作阻抗的 L-R 电路的衰减进行计算。

元件的工作阻抗  $r_{on}$ ，可根据输出特性曲线求取。

以本公司的 MBN1200E33E 为例， $r_{on} \approx 3.4\text{m}\Omega$  (@ $T_j=25^\circ\text{C}$ 、 $1/2$  额定电流时)。

此外，假设并列构成时的电路电感 (LCA + LCB + LEA + LEB) 为 100nH，电流的均等化，将依照根据下列公式 (1) 求得的时间常数  $\tau$  实现均等化。

$$\tau = \frac{100\text{nH}}{3.4\text{m}\Omega \times 2} = 15 \mu\text{s} \quad (1)$$

如果电流变化的稳定度为  $\tau$  的 3 倍 (变化至约 95%)，导通后  $45\mu\text{s}$  期间的电流平衡，并不由  $V_{CE}(\text{sat})$  决定。

因此，当载波频率较高时以及导通期间较短时，在几乎所有的期间内，电流平衡由配线 (包括形状) 决定。

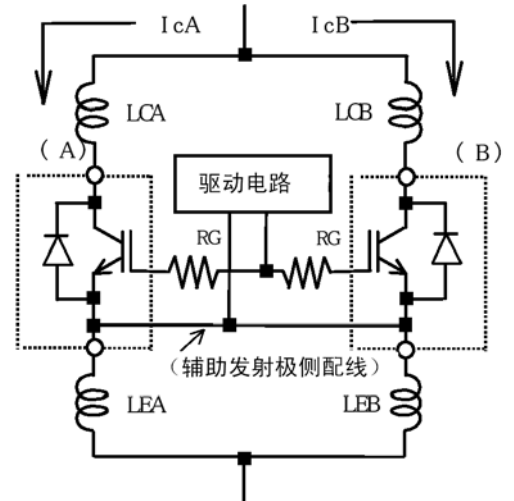


图 3.12 并列联结时的主配线电感

必须采用使 LCA 和 LCB、LEA 和 LEB 分别均等的配线方法。

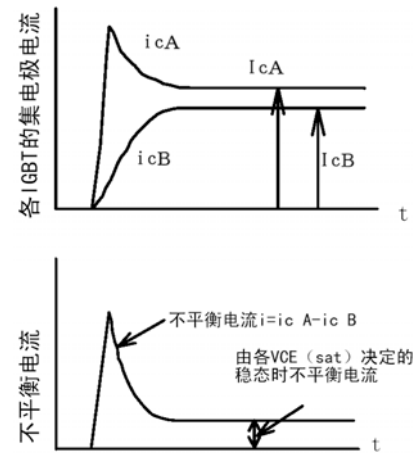


图 3.13 不平衡电流的均等化

(3) 有关门极配线的注意事项

对于并联联结的门极配线，请注意以下各点。

- (a) 各门极配线与主电路配线，为防止产生相互感应以及高电位差导致的噪声，应采用正交配线，并确保门极配线与主电路配线间的距离。
- (b) 上下桥臂的门极线，存在着高电位差。请充分确保配线间的距离。
- (c) 并联元件的门极配线应尽量短，并统一配线长度，使各电感值保持一致（抑止产生于电感差的开关动作偏差）。

3-5-5. 动态雪崩与并联联结

动态雪崩电压，如图 3.10 所示，由于低于额定电压，并联联结使用，超过图 3.10 的范围使用时，电流将大量流向较低的动态雪崩电压。图 3.14 为一个举例。

图 3.14 为没有缓冲电路的波形。有缓冲电路时，由于关闭电流进入缓冲电路，集电极电流的减少比无缓冲电路快，因此，存在着电流不平衡发生于较高集电极电压处的特征。（参考图 3.15）

无论何种情况下，并联联结时，应特别注意电流的不平衡，不可超过图 3.10。

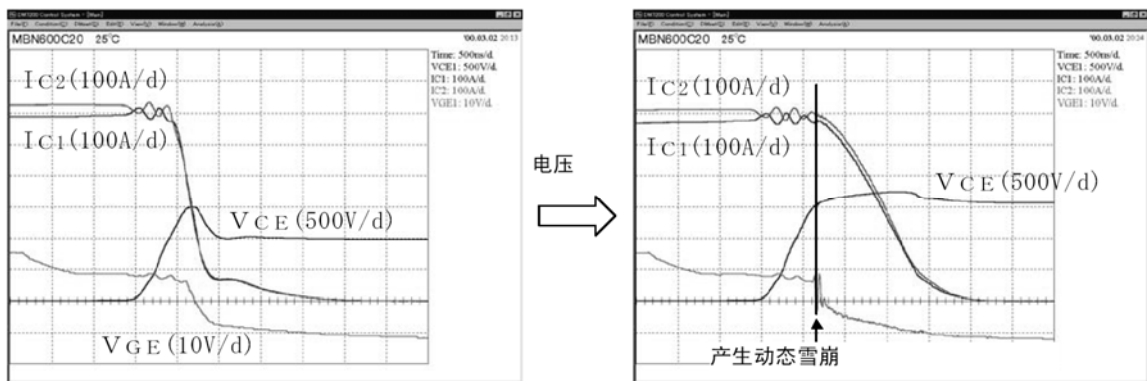


图 3.14 并联联结时的动作（无缓冲电路）

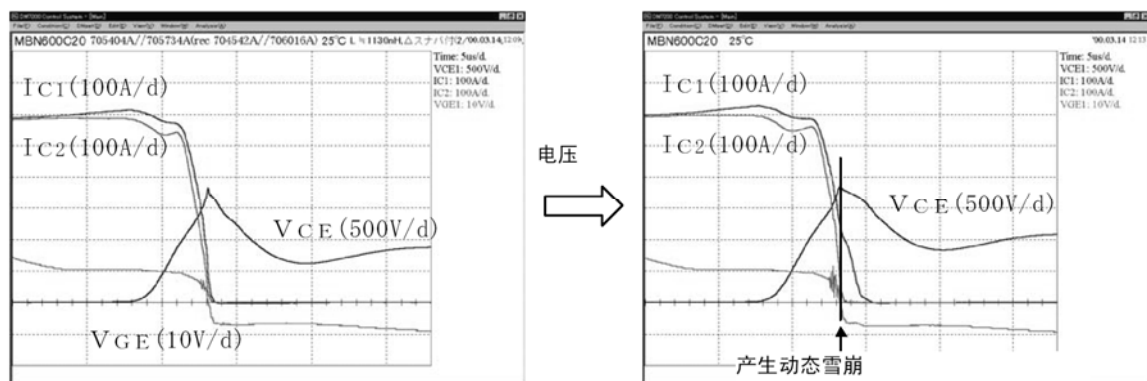


图 3.15 并联联结时的动作（有缓冲电路）

### 3-6. 计算功耗

以下，介绍将 IGBT 用于 PWM 控制的变频电路时的常用功耗计算方法。

逆变的相输出电流波形，为正弦波。

以下，为  $i_{in1}$  构成时，IGBT 的内部产生功耗。

模块总功耗	= IGBT 功耗 + FWD 功耗
IGBT 功耗	= 导通稳态功耗 (Pon) + 导通功耗 (Pton) + 关闭功耗 (Ptoff)
FWD 功耗	= 正向功耗 (Pf) + 恢复功耗 (Prr)

#### 3-6-1. IGBT 的功耗

(1) 导通稳态功耗 (Pon)

$$P_{on} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} i \times v \times D \times d\theta \quad \text{----- (1)}$$

此处，D 表示正弦波输出时的负载

$$D = \frac{1 + \sin\theta}{2} \quad \text{----- (2)}$$

进一步考虑 PWM 控制等的控制率 K 后

$$D = \frac{1 + K \cdot \sin\theta}{2} \quad \text{变为实际控制,}$$

但是，上式中假设 K=1。

因此，导通稳态功耗 Pon，可采用以下公式求取。

$$P_{on} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_o}{2\pi} \cdot a + \frac{\pi}{4} b \cdot \sqrt{2} I_o + \frac{\pi}{4} \cos\phi \cdot \left( a + \frac{8}{3\pi} b \cdot \sqrt{2} I_o \right) \quad \text{----- (3)}$$

上式中， $i$ ：流向 IGBT 的集电极电流（瞬时值）  
 $v$ ：IGBT 的饱和电压（瞬时值）  
 特性图

$I_o$ ：逆变的相输出电流（有效值）  
 A、b：假设  $V_{CE}(\text{sat}) = a + b \cdot I$  近似时的 a 和 b 的值，根据图 3.16 的  $I_c$ -VCE 特性求取。  
 $\cos\phi$ ：负载功率因数

(2) 导通功耗 (Pton)、关闭功耗 (Ptoff)

假设逆变相输出电流有效值为  $I_o$ ，输出电流峰值为

$$\sqrt{2} \cdot I_o。$$

元件的导通电流、关闭电路的平均值为：

$$I_{ave} = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} \cdot I_o \quad \text{----- (4)}$$

对应于该  $I_{ave}$  的每个脉冲的导通以及关闭时产生的能量 (Eton、Etoff)，可根据图 3.17 求取。以下，为导通功耗 Pton 以及关闭功耗 Ptoff。

$$P_{ton} = E_{ton} \cdot \frac{f_c}{2} \quad \text{----- (5)}$$

$$P_{toff} = E_{toff} \cdot \frac{f_c}{2} \quad \text{----- (6)}$$

上式中， $f_c$ ：载波频率

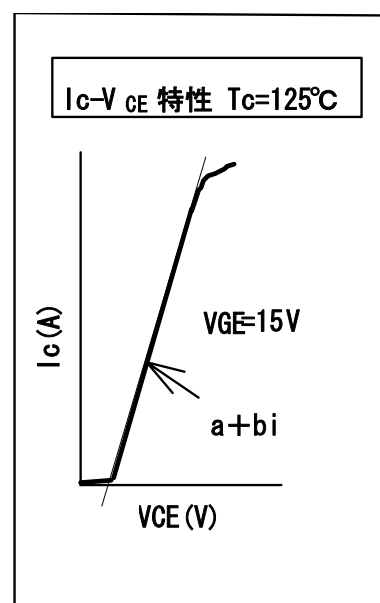


图 3.16  $I_c$ -VCE

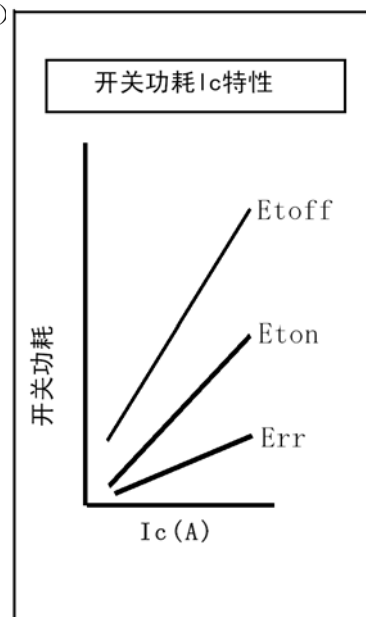


图 3.17 SW Loss-Ic 特性图

### 3-6-2. FWD 的功耗

#### (1) 正向功耗 (Pf)

$$\begin{aligned}
 P_f &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} I_o \cdot \sin\theta (a + b \sqrt{2} I_o \cdot \sin\theta) \cdot \frac{1 - \sin(\theta + \phi)}{2} d\theta \\
 &= \frac{\sqrt{2} \cdot I_o}{2\pi} \cdot a + \frac{\pi}{4} b \cdot \sqrt{2} I_o - \frac{\pi}{4} \cos\phi \cdot \left( a + \frac{8}{3\pi} b \cdot \sqrt{2} I_o \right) \quad \text{----- (7)}
 \end{aligned}$$

可根据以下公式求取。

上式中,  $I_o$ : 逆变相输出电流 (有效值)

$a$ 、 $b$ : 假设  $V_f = a + bi$  近似时的各系数 (图 3.18)

$\cos\phi$ : 负载功率因数

#### (2) 恢复功耗 (Prr)

平均电流, 假设输出电流峰值为  $\sqrt{2} \cdot I_o$ , 则为以下公式。

$$I_{ave} = \frac{2}{\pi} \times \sqrt{2} \times I_o \quad \text{----- (8)}$$

对应于上述  $I_{ave}$  的每个脉冲的恢复能量, 可根据图 3.17 所示的  $Err$  特性求取,  $P_{rr}$  根据下列公式求取。

$$P_{rr} = Err \times \frac{f_c}{2} \quad \text{----- (9)}$$

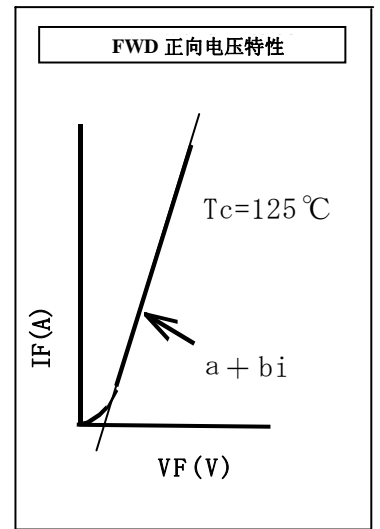


图 3.18 IF-VF 特性图

### 3-7. 热阻抗与散热设计

#### 3-7-1. 关于热阻抗

有关模块的热阻抗，对于 IGBT 元件以及二极管元件，在规格中规定了联结·外壳间热阻抗  $R_{th}(j-c)$ 。

#### 3-7-2. 关于温度测定位置的定义

外壳温度以及散热片温度测定位置的定义，依照图 3.19。

联结·外壳间热阻抗  $R_{th}(j-c)$  以及外壳·散热片间接接触热阻抗  $R_{th}(c-f)$ ，由本定义进行规定。

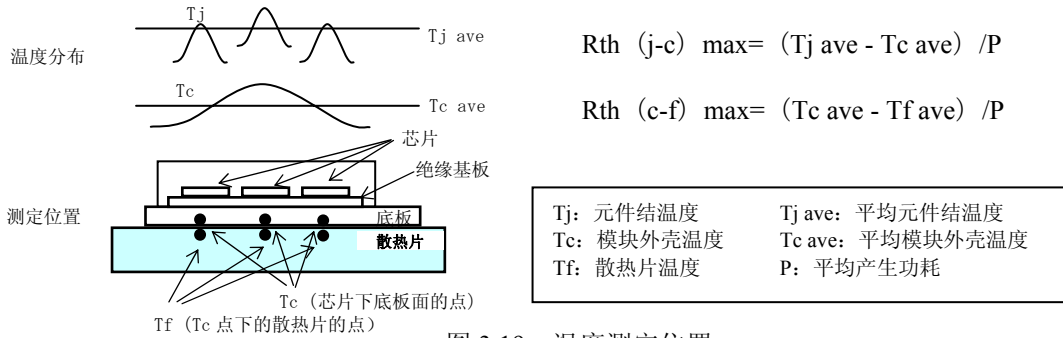


图 3.19 温度测定位置

#### 3-7-3. 关于散热设计

以下，为根据稳态状态以及过渡状态，选择散热片的基本思路。

##### (1) 稳态状态

稳态状态时的热等效电路，如图 3.20 所示。

依照图 3.20 的热等效电路，IGBT 的结温度  $T_j$  (IGBT)，可根据以下公式求取。

$$T_j(\text{IGBT}) = P(\text{IGBT}) \times R_{th}(j-c)(\text{IGBT}) + \{P(\text{IGBT}) + P(\text{二极管})\} \times R_{th}(c-f) + \{P(\text{IGBT}) + P(\text{二极管})\} \times R_{th}(f-a) + T_a \quad \text{----- (1)}$$

结温度与环境温度之差  $\Delta T_j$  (IGBT)，可根据以下公式求取。

$$\Delta T_j = P(\text{IGBT}) \times R_{th}(j-c)(\text{IGBT}) + \{P(\text{IGBT}) + P(\text{二极管})\} \times R_{th}(c-f) + \{P(\text{IGBT}) + P(\text{二极管})\} \times R_{th}(f-a) \quad \text{----- (2)}$$

上式中，外壳温度  $T_c$  以及散热片温度  $T_f$  的测定点，为图 3.19 温度测定位置的定义点。

求取二极管的结温度时，设定联结·外壳间温度上升为  $P(\text{二极管}) \times R_{th}(j-c)(\text{二极管})$ ，可采用同样的方法求取。

外壳温度测定位置不同时，热阻抗与产品目录值有所不同，请注意。

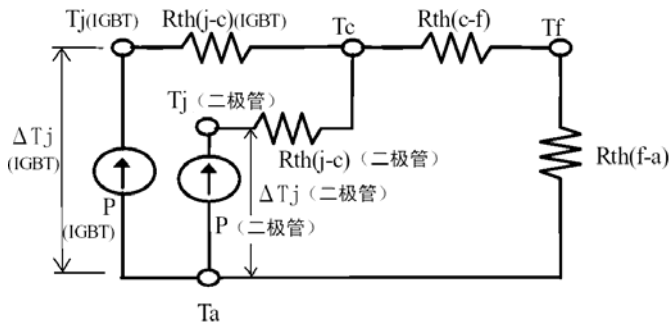


图 3.20 热等效电路

- P: 平均产生功耗
- $T_j$ : 芯片的结温度
- $T_c$ : 模块的外壳温度
- $T_f$ : 散热片温度
- $T_a$ : 环境温度
- $R_{th}(j-c)$ : 联结·外壳间热阻抗
- $R_{th}(c-f)$ : 外壳·散热片间热阻抗 (接触热阻抗值)
- $R_{th}(f-a)$ : 散热片·环境间热阻抗

## (2) 过渡状态

如前所述，通常情况下，只要考虑使用了平均产生功耗的稳定状态下的结温度  $T_j$  就足够了。事实上，反复进行开关，产生的功耗将变为脉冲状。结温度  $T_j$ ，将外壳温度  $T_c$  作为基准时，如图 3.21 所示，将产生温度波动。

因此，如果将产生功耗视为一定周期内、固定峰值的连续矩形波脉冲，根据图 3.22 所示的过渡热阻抗特性曲线，可使用以下公式计算结温度的峰值  $T_{jp}$ 。

$$T_{jp} = P_1 \times \{ R_{th}(\text{恒定}) \times t_1/t_2 + (1 - t_1/t_2) \times R_{th}(t_1+t_2) - R_{th}(t_2) + R_{th}(t_1) \} + T_c \quad \text{--- (3)}$$

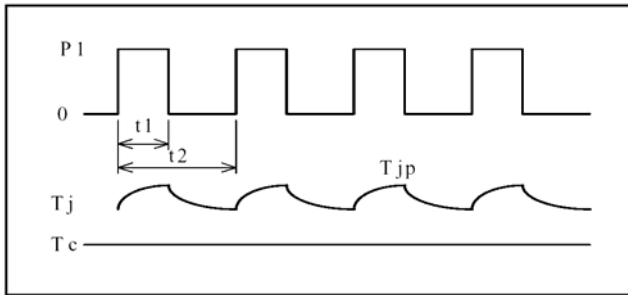


图 3.21 温度波动

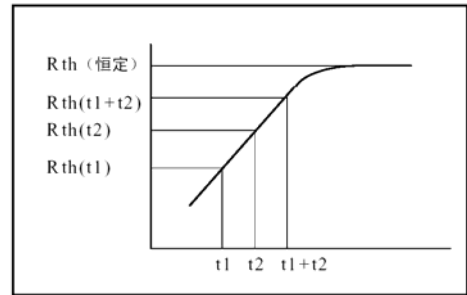


图 3.22 过渡热阻抗

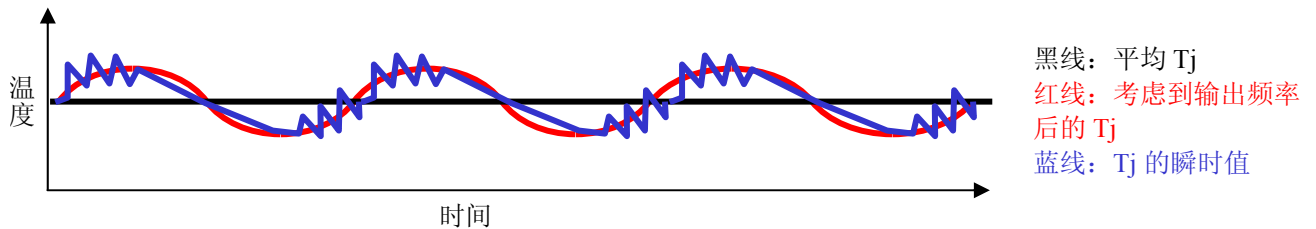


图 3.23 逆变工作时的温度波动

图 3.23，表示了逆变工作时的温度波动。结温度，采用与输出频率同样的循环进行振动。载波频率，也以同样的循环振动。考虑到上述情况，绝对不可超过  $T_{jmax}$ 。

### 3-7-4. 有关温度波动・温度变化的注意事项

#### (1) 存在温度波动时的注意点

- 请进行上述研究，确认结温度的温度波动峰值没有超过额定值 ( $T_{jmax}$ )，然后选定散热片。
- 温度波动越大，模块内部构造材料的应力就越大，其循环数变大，存在着降低模块寿命的危险。特别是用于产生高温波动，并且循环数较大的用途时，请充分进行研究。
- 当产生功耗相对于时间发生变化时，由于存在外壳・散热片间的接触热阻抗，外壳温度  $T_c$  有时也将随着产生功耗发生变化，请注意。

#### (2) 功率循环模式时的元件寿命曲线

在不易发生冷却系统以及模块外壳温度 ( $T_c$ ) 变化，元件的结温度 ( $T_j$ ) 发生变化模式中的寿命项目，存在着功率循环容量。

功率循环容量，表示元件温度变化的变化值 ( $\Delta T_j$ ) 与重复循环次数 ( $N$ ) 之间的关系，主要表示导丝的焊接部分承受应力， $V_{CE}(\text{sat})$  发生变化的老化模式。

本公司的试验方法为，流过数秒钟的元件额定电流，然后关闭数秒钟，使结温度发生变化，将此定义为 1 个循环。

实际使用时，由于不可忽视模块外壳与冷却片间的接触热阻抗，而且外壳温度有时也会发生变化，因此，请在联结・散热片间评价  $\Delta T_j$ 。

### 3-8. 死区时间

本节将说明 IGBT 元件的基本工作原理。

上下桥臂同时导通时，桥臂短路，在元件流过大电流。

请设定死区时间、过电流保护。

#### 3-8-1. 逻辑上的死区时间与 IGBT 元件死区时间的关系。

##### (1) 主电路构成举例

图 3.24，为电压型逆变的电路构成举例（单相），在直流电压  $E_o$  的 PN 间具有上下桥臂，假设为上下桥臂的 IGBT 交替重复导通、关闭的模式。为防止同时点弧（导通）导致的短路，在控制信号上设定了上下 IGBT 关闭期间（死区时间）。同样，存在被称为非闭锁的期间。

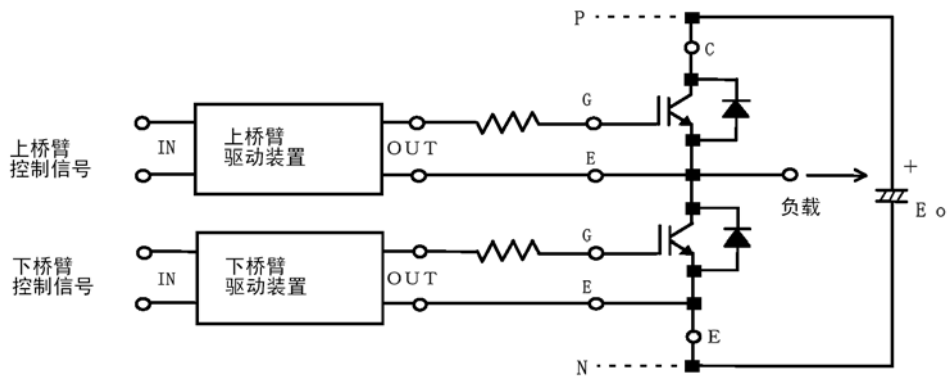


图 3.24 主电路构成举例（上下桥臂单相构成）

##### (2) 逻辑（逻辑电路）上的死区时间与 IGBT 输出端子（C、E）的死区时间

图 3.25，表示控制信号、驱动输出电压、IGBT 集电极·发射极间电压的相位关系。逻辑电路中的死区时间（设定为  $TD$ ），由于驱动输出电压的延迟（图 3.25 中的  $t_1$ 、 $t_3$ ）、IGBT 元件的开关延迟（图 3.25 中的  $t_2$ 、 $t_4$ ）而产生时间差，变化为  $TD'$ 。

以下，为各延迟时间  $t_1 \sim t_4$ 。

$t_1$ : 导通信号——导通驱动电压输出延迟时间

$t_2$ : 导通驱动电压——IGBT 导通输出延迟时间

$t_3$ : 关闭控制信号——关闭驱动电压输出延迟时间

$t_4$ : 关闭驱动电压——IGBT 关闭输出延迟时间

（各项数据，均假设为不存在桥臂的上下差异。）

逻辑上设定的死区时间（ $TD$ ）与 IGBT 的 CE 间死区时间（ $TD'$ ）的关系，如下列公式。

$$TD' = TD - (t_3 + t_4) + (t_1 + t_2) \quad \text{----- (1)}$$

如上所示，逻辑电路中的死区时间（ $TD$ ），根据延迟时间  $t_1 \sim t_4$  的大小发生变化，成为实际死区时间（ $TD'$ ）。因此，请研究驱动系统的延迟（ $t_1$ 、 $t_3$ ）与 IGBT 元件的延迟（ $t_2$ 、 $t_4$ ），并加以验证。

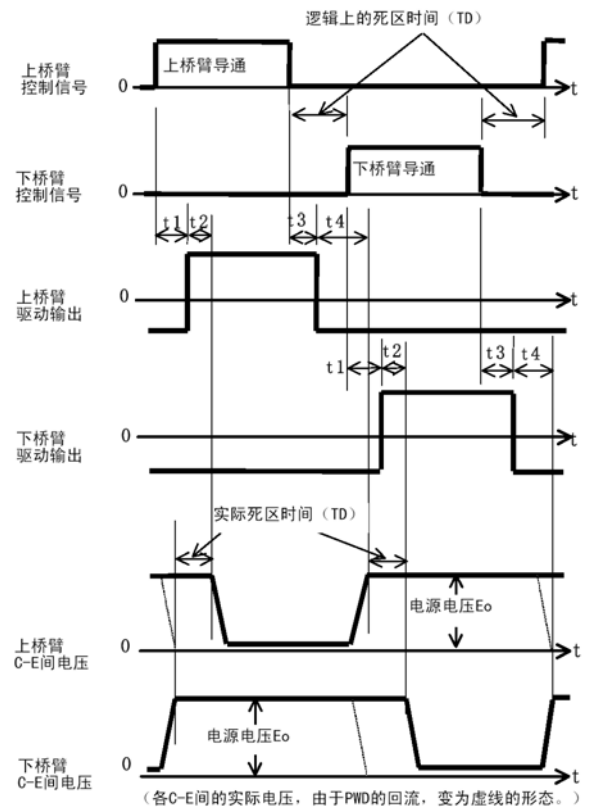


图 3.25 控制信号、驱动电压以及 IGBT 集电极电压的关系

(3) 死区时间的验证举例

(a) 验证电路的构成

采用图 3.26 的半桥电路进行验证。

电路动作，假设下桥臂侧集电极电流断开时上桥臂导通，向上下驱动电路发送信号。

(b) 开关波形的观测方法

有若干确认上下桥臂非闭锁的方法，但是，请特别注意观测不同电位的电压波形。作为在浮动状态观测电压的方法，可采用光绝缘电缆以及差动传感器，请注意延迟。

(c) 确认上下动作

图 3.27，表示验证时的波形，将下桥臂关闭作为门极电压过渡至反偏的开始点（=B点），根据与上桥臂门极电流峰值点（=A点）的相位关系，判断是否闭锁。

如果 A 点处于早于 B 点的时间点，可以认为正在发生上下桥臂的短路状态（参考图 3.27）。

发生上下桥臂短路后，集电极电流变为图 3.27 的虚线状态，开关功耗变大。

在此时的门极电压波形，可观测到 B 点电压值的增加。

(d) 验证实施举例

图 3.28 为图 3.26 的电路构成，以及利用图 3.27 的波形观测进行验证的举例。

本举例，变化上下桥臂的控制信号相位后进行观测。

根据图 3.28 的波形（1），未发现短路。但是，根据（2）的波形，可确认已经发生短路。

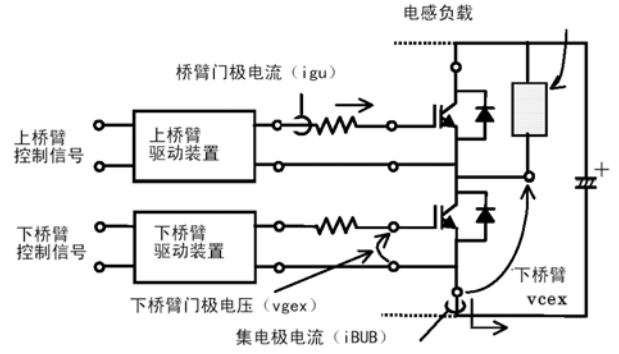


图 3.26 验证电路的构成（半桥电路）

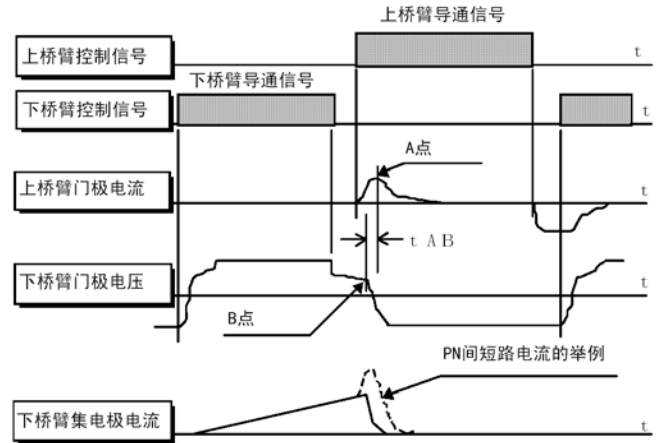


图 3.27 控制信号与上下桥臂门极波形

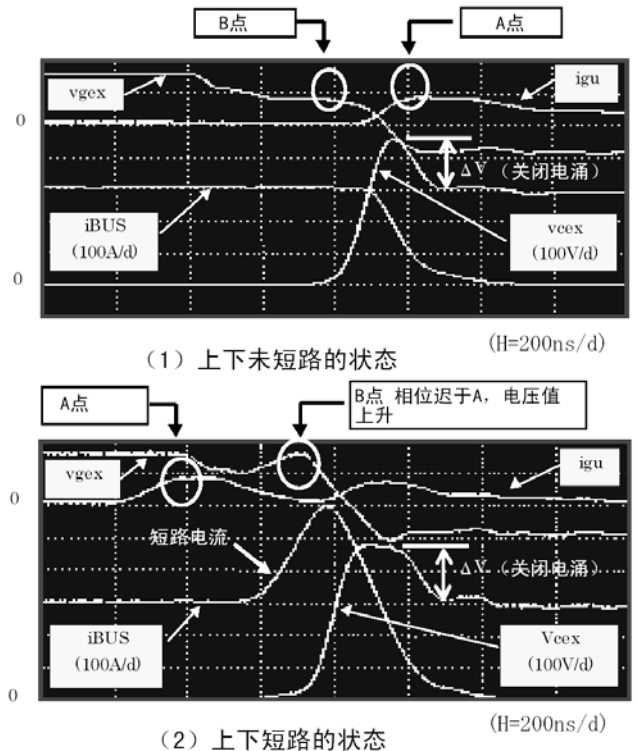


图 3.28 有无上下桥臂短路时的波形观测举例

(1) 上下未短路状态（死区时间几乎为零  $\mu\text{s}$ ）

(2) 上下短路状态（流过约 300ns 短路电流）

### 3-9. 短路保护

#### 3-9-1. 短路发生模式

逆变等的短路发生模式，大致分为以下两种。

- (1) 发生于逆变侧（元件损坏、控制电路异常、壳体接地等）
- (2) 发生于负载侧（接线差错、负载异常、接地等）

#### 3-9-2. 短路时 IGBT 的动作

电路短路时，当 IGBT 处于导通或者关闭状态时，电路电流上升，最后达到元件的饱和电流（饱和电流，上升至额定集电极电流的约 6 倍左右）。

IGBT，处于几乎被附加全部主电路直流电压的状态。

该状态如果长时间持续，元件将被破坏（破坏初期为短路模式）。

为回避上述现象，在元件被破坏之前，请断开（=关闭）电流。

#### 3-9-3. 短路电流的断开（=关闭）

对于断开异常电流，以下介绍利用 IGBT 元件断开电流的方法。

出现短路电流，集电极电压 VCE 上升后，请在  $10\mu\text{s}$  以内断开（=关闭）电流（过电流的通过幅度，请设定为  $10\mu\text{s}$  以下）。

此外，由于高耐压 IGBT 中含有并不能保证短路断开的元件，请确认是否能够保证断开。

类似上述短路保护，可采用如下表所示的方法。

各种方式中的电流·电压各波形，通常如图 3.29 所示。

表 3.1 短路保护方式的举例

No.	短路保护方式	具体方法	特征	注意点
1	短路电流 硬件断开	①检测过电流后，实施常规关闭。 ②利用 CT 等检测过电流(CT 除了输出线路外，还需要直流电路电流)。	①仅可检测电流。 ②关闭浪涌电压大。 ③缓冲电路浪涌电压大。(来自大断开电流的影响)	①需要采取防浪涌电压措施。 ②由于过电流大，需要注意缓冲电压的上升。(过电流值和缓冲 C，决定了浪涌电压。) [至少不得超过额定 VCE。如果有对峰值电压的单独限制，应依照该限制。]
2	短路电流 软件断开	①检测过电流后，抑制门极输出电压。 ②利用驱动电路检测 VCE(sat) 的异常(即过电流导致的电压上升)，利用软件断开电流。	①浪涌电压小。 ②驱动装置需要具备检测自己桥臂 VCE 的电路(检测异常)。 ③利用检测功能，可锁定异常桥臂。(需要另外的电路。)	①所有动作模式的关闭模式，应防止误检测(设定检测延迟，防止误检测)。 ②特别需要注意大电流区域的误动作。 [至少不得超过额定 VCE。如果有对峰值电压的单独限制，应依照该限制。]

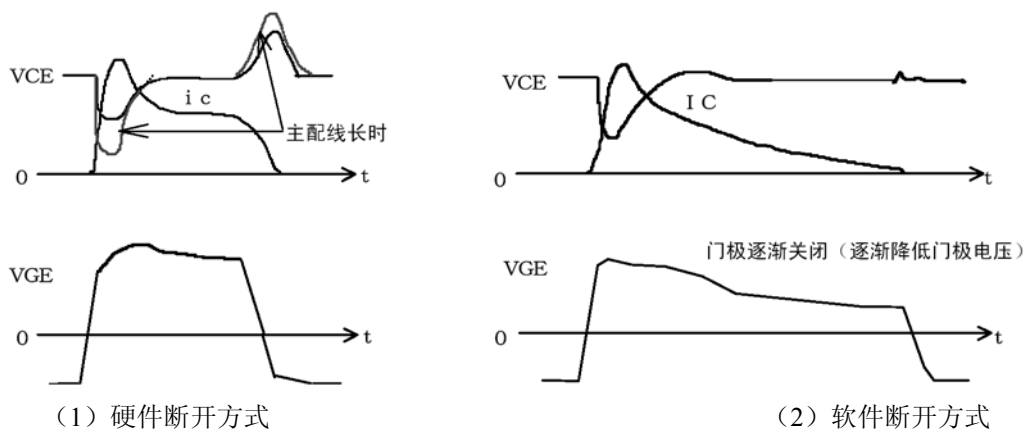


图 3.29 不同短路保护方式的电流电压波形的差异

## 4 章. 安装时的注意事项

### 4-1. 安装于 IGBT 模块的冷却片

#### 4-1-1. 推荐拧紧扭矩

临时紧固、正式紧固时的各种推荐扭矩，如表 4.1 所示。

表 4.1 IGBT 模块安装部分的推荐扭矩值

No.	螺丝	额定扭矩 (N·m)	推荐扭矩 (N·m)	临时紧固扭矩 (N·m)	正式紧固扭矩 (N·m)
1	M5	2.8	2.6	1.0~1.5	2.6
2	M6	6.0	5.5	1.5~2.0	4.9~5.9

#### 4-1-2. 涂布导热脂（热化合物）以及模块安装方法

为了冷却元件，必须涂布导热值。但是，如果涂布方法不正确，可导致模块内部构造物（绝缘基板）损坏。实际安装时，提供了经日立确认的网印方法。由于散热片侧的形状等，实际最佳安装方法会有所不同。本方法，介绍了实际安装举例，并不能保证安装后的状态，请理解。

- (1) 请清除模块底面和散热片面的异物。在模块的底面使用金属网涂布导热值。

涂布时请使用滚筒或者刷子，如图 4.1 所示，采用类似网印的方法进行涂布。

- (2) 涂布导热值的厚度，以 100~150 $\mu\text{m}$  左右最为恰当。导热值量，请使用紧固后导热值能够从模块底面四周溢出的量（请擦拭干净溢出的导热值）。

推荐导热值以及比重，如表 4.2 所示。

- (3) 将模块放置于实际安装部位，然后用力按下散热片，使导热值扩散至整个底面。请放入弹簧垫圈，固定螺丝。

- (4) 请按照图 4.2 所示的顺序，采用表 4.1 的扭矩进行紧固。

手动或者采用电动旋具进行拧紧（使用电动旋具时，请注意扭矩的超程现象）。

如果偏离图 4.2 所示的顺序以及扭矩值，由于导热值的粘度，底面可能会出现变软，导致元件内部绝缘基板的绝缘破坏。

临时紧固和正式紧固的放置时间（间隔）过短，由于导热值的粘度，底面可能会变软，导致绝缘破坏，请确认放置时间（间隔）。此外，安装模块后，请实施绝缘耐压试验，进行确认。

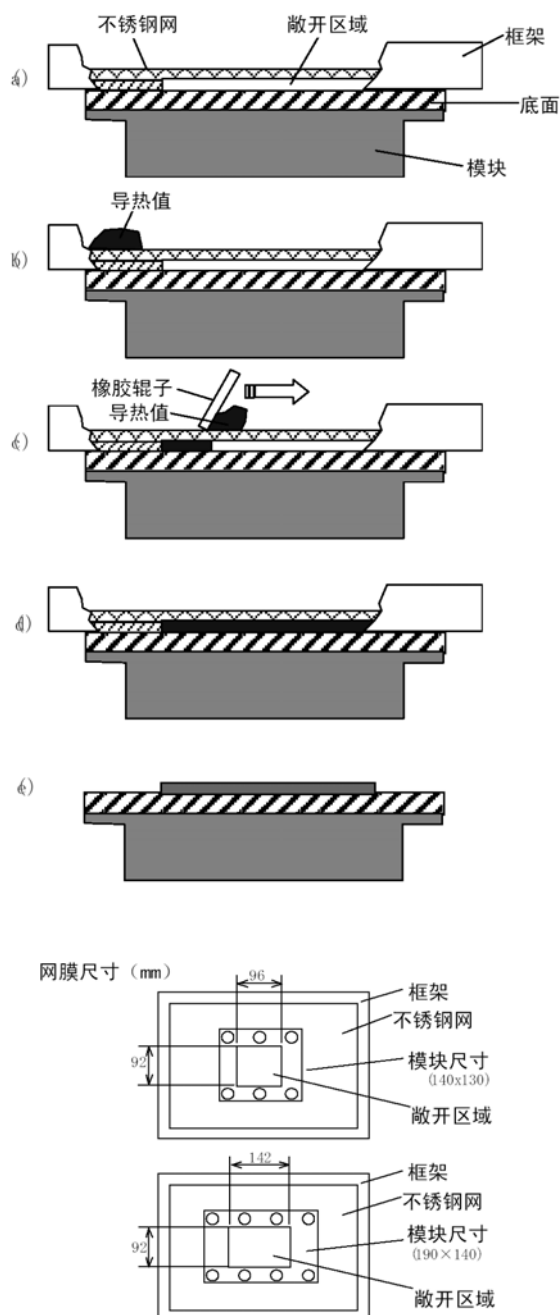


图 4.1 利用金属网涂布导热值的方法

(5) 正式拧紧后，请时隔 6 小时后再次进行拧紧（称为“加固”）。

扭矩以及螺丝的紧固方法，与正式拧紧相同。

#### 4-1-3. 推荐螺丝的紧固顺序

采用 6 点紧固法、8 点紧固法，临时拧紧和正式拧紧模块时，请按照图 4.2 所示的顺序进行拧紧。

临时紧固时：1□2□3□4...的顺序

正式紧固时：...4□3□2□1 的顺序

此外，紧固顺序为对角线顺序，其开始位置没有特别规定。

（加固时也同样。）

表 4.2 推荐导热值以及比重

No.	生产商	型号	比重
1	信越化学工业(株)	G747	2.81g/cm <sup>3</sup>
2	东芝硅树脂(株)	YG6260	2.50g/cm <sup>3</sup>

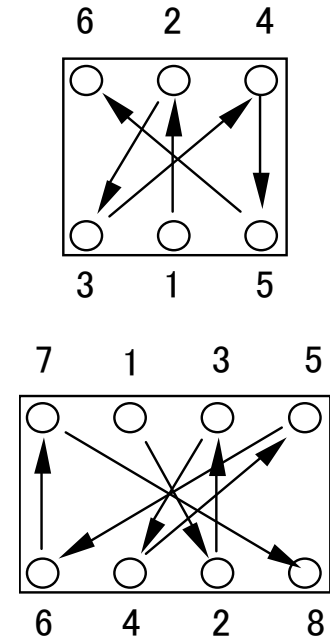


图 4.2 IGBT 模块的拧紧顺序

#### 4-1-4. 关于散热板的表面粗糙度、翘曲等

##### 重要事项

- 散热板的表面粗糙度，请控制为「25S」以上。
- 散热板的翘曲，对于凹以及凸，请控制在螺丝孔间隔间为 50μm 以下。
- 请确认散热板的表面没有毛刺等，螺丝孔必须进行倒角。
- IGBT 模块与散热板之间，不得夹入切削物等异物。

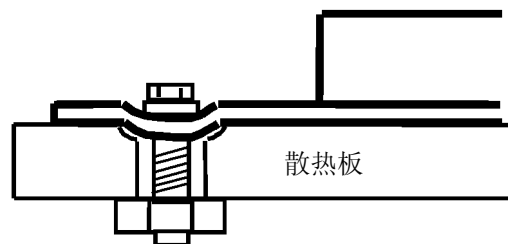
#### 4-1-5. 关于散热板的模块安装用孔

散热板的安装孔径过大，如图 4.3 所示，可能会导致 IGBT 模块的金属底面变形，损伤模块内部的芯片。因此，请根据使用螺丝的大小，选择恰当的安装孔径。

对应于使用螺丝的安装孔径以及倒角推荐值，如表 4.3 所示。

表 4.3 推荐安装孔径及倒角值 (mm)

No.	螺丝	安装孔径	推荐倒角值
1	M4	Ø5	C0.5
2	M5	Ø6	C0.5
3	M6	Ø7.5	C0.5
4	M7	Ø9.5	C0.5



安装孔径过大，IGBT 模块的金属底面会变形  
图 4.3 不恰当的散热板安装举例

## 4-2. 安装于端子

### 4-2-1. 端子的使用

主端子部分，请勿施加 15kgf/端子以上的压缩、拉伸应力。元件封装以及主端子的变形，可导致元件内部配线的短路。

请勿拉出或者折曲主端子/辅助端子。可导致端子损坏。

采用端子部分承载重物的构造时，对端子施重，可能会损伤端子，请事先实施现场振动试验，对其进行评价。

### 4-2-2. 螺丝的推荐紧固顺序

对于端子部分螺丝的紧固顺序，并没有特别规定。

### 4-2-3. 螺丝紧固方法

手动或者采用电动旋具时，请采用表 4.4 所示的推荐扭矩。

表 4.4 安装螺丝端子部分时的扭矩

No	螺丝	额定扭矩 (N·m)	推荐扭矩 (N·m)	最小值扭矩 (N·m)	备考
1	M4	2.0	1.8	1.6	辅助端子部分
2	M8	15.0	15.0	12.0	

### 4-2-4. 螺丝的推荐深度

螺纹型安装部分的截面图，如图 4.4 所示。螺丝深度（长度）的推荐值，请选择为同图中“d”的长度（从螺母的冒出长度）为 1~2mm。

图 4.4 中的各个尺寸（a、b、c），根据螺丝的种类，如表 4.5 所示。表格中的尺寸，并不包括配线及其他厚度。

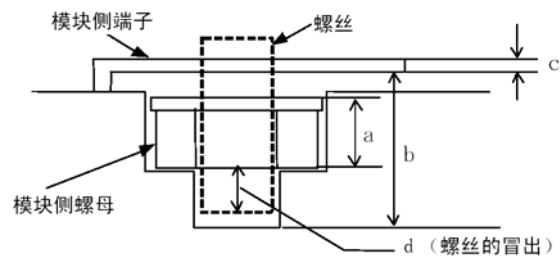


图 4.4 模块侧螺丝孔的截面图

表 4.5 螺丝孔各部分的尺寸（图 4.4、a、b、c）

No.	螺丝	A (mm)	B (mm)	C (mm)	备考
1	M4	32	100	06	辅助端子部分
2	M8	80	170	15	

## 4-3. 安装环境

### 重要事项

安装模块时的环境，请注意以下各点。

- 关于有害物质：暴露于二氧化硫气体、氯气等腐蚀性气体中，端子和金属底面会腐蚀，导致导电性和散热性变差或者变色，请避开腐蚀性气体。
- 其他：IGBT 模块不可淋雨。

## 4-4. 保管·搬运时的注意事项

### 重要事项

(1) 请保管于以下状态中。

- 温度：40℃以下
- 湿度：RH60%以下

- 尘埃：请避开有大量尘埃的场所。
- 有害物质：不得有二氧化硫气体、氯气等腐蚀性气体。
- 其他：请勿拆下安装于信号用门极·发射极端子的导电性海绵或者导电带。

#### (2) 搬运时的注意事项

- 请小心搬运和移动，不得投掷或者跌落。可导致产品损坏。请勿使用受过撞击或者跌落的元件。
- 请遵守搬运箱上指定的“小心注意、易碎物品”等遵守事项，不得给予机械振动和撞击。
- 搬运箱不得淋雨或者淋水，请十分注意。

### 4-5. 针对静电破坏的注意事项

#### 重要事项

由于 IGBT 具有 MOS 栅构造，作为防静电措施，请十分注意以下各点。

- 使用前，不得拆除安装于门极·发射极间的导电海绵、导电性金属或者导电带。
- 使用时，应借助高阻抗（100kΩ~1MΩ 左右）使人体接地，握持封装件本体时，请勿触摸门极端子。
- 作业台、烙铁等与元件接触物，请务必接地。
- 试验、检查时，请确认已经清除测定产品的残留电荷。

附加于各端子的电压，请从“零伏”开始附加，恢复为“零伏”后结束。

### 4-6. IGBT 模块的电路配置、配线方法

- (1) 配置 IGBT 模块电路时，请尽量减少来自电源的配线电感。该配线电感过大，开关时会出现过大电压的上超，导致 IGBT 模块出现过电压破坏。为减少主电路配线电感，请使用层叠式母线。
- (2) 门极电路与 IGBT 模块间的配线应尽量短。配线过长，门极电压的上升及下降时间会出现延迟，开关时间变长，容易引发感应噪声。采用绞线（对线）和屏蔽线构造，可有效降低配线电感，防止感应噪声。

### 4-7. 测定时的注意事项

- (1) 测定  $V_{CES}$  时，请短路控制用门极·发射极各端子，然后进行测定。

在导通状态附加电压，可能会破坏 IGBT。

此外，实施热循环试验等，模块可能会结露时，请在 100□ 左右放置 2 小时干燥后，在规定温度下进行测定。

- (2) IGBT 模块，由于模块内部的芯片与模块端子之间存在配线，开关时，模块端子的电压与附加于芯片的电压各不相同。

出现上述现象的原因是：假设电流的时间变化率为  $di/dt$ ，配线电感为  $L$ ，将会在电感的两端产生  $L \times di/dt$  的电压。

因此，导通时，模块端子的电压高于附加于芯片的电压，关闭时，附加于芯片的电压高于模块端子的电压。

上述内部配线的电感，可达到约 20~40nH。虽然受到电流时间变化率的影响，但是，请勿附加超过元件额定电压的电压。

## 5 章. 可靠性

对于可靠性，以下说明一般事项及用语。

针对模块构造，将说明特有的可靠性试验项目及内容。

### 5-1. 故障率

通常情况下，半导体器件的故障率，随时间推移发生如图 5.1 所示的变化。

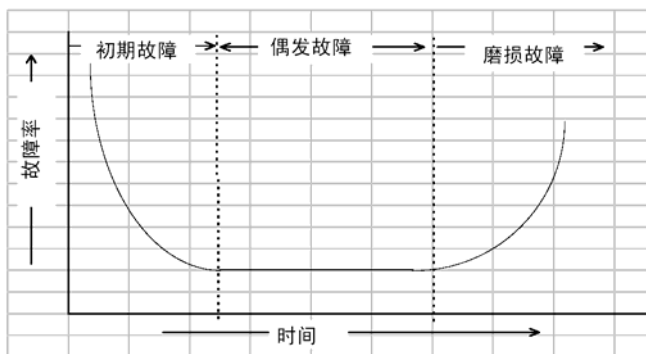


图 5.1 半导体器件的故障率（失效率曲线）

初期故障：在开始使用后的较早时期，由于制造上的原因或者不适合使用环境而发生的故障。

偶发故障：经过初期故障时期后，偶尔发生于进入磨损故障期间之前一段时间段的故障。

磨损故障：由于疲劳、磨损、老化现象等，随着时间的推移，故障率变高时间段内的故障。

### 5-2. 故障因子

决定半导体部件是否容易发生故障的要素，如下表 5.1 所示，可分为制造方面的内部因子以及使用方面的外部因子。

发生如下表所示的具体故障时，请分析导致故障的因子，采取恰当的应对措施。

表 5.1 故障原因

因子划分		故障具体举例
内部因子	由部件的构成材料、构造决定的因子	(1) 金属间生成化合物故障（紫斑） (2) 热膨胀系数的未匹配
	起因于制造工序中的偏差的因子	(1) 内部焊接丝不良 (由位置、压力、损伤等条件引发) (2) 芯片表面的晶格损伤 (3) 气密不良 (4) 芯片焊接部分不良
	热应力	(1) 热膨胀导致的磨损老化及破坏 (2) 化学变化的促进（生成化合物等）
	电气应力	(1) 绝缘破坏（封装） (2) 绝缘破坏（具有 MOS 构造的芯片时）
外部因子	机械应力	(1) 端子断裂 (2) 封装碎裂 (3) 绝缘破坏（封装）
	化学应力	外部电极生锈
	放射线	由表面电荷蓄积导致的特性变化

### 5-3. 可靠性试验

#### 5-3-1. 可靠性试验的种类和内容

本公司所实施模块产品的可靠性试验的种类和内容，如表 5.2 所示。

表 5.2 可靠性试验的种类和内容

No.	试验项目	试验条件
1	温度循环试验	判定暴露于高温以及低温状态时的耐受性。 温度：（低温·常温·高温）、时间：各 60 分、循环数：200
2	撞击试验	判定应对撞击的耐受性。 加速度：100G、方向：（X、Y、Z）、时间：6 $\mu$ s、各方向实施 3 次。
3	振动试验	判定应对振动的耐受性。 加速度：10G、频率：100Hz~2kHz、方向：（X、Y、Z）、各方向 2h
4	紧固强度试验 （主端子/安装）	判定应对紧固主端子等的耐受性。 拧紧扭矩：规定扭矩、放置时间：336 h
5	断续动作试验	判定元件应对连续通电后温度上升·下降的电气及机械耐受性。 $\Delta T_c=70^\circ$ 、正弦波 50Hz 半波 $I_p$ =额定电流（IGBT180°FWD90°导通） 循环数：30000
6	直流电压 附加试验	通过长时间附加电气、温度应力，判定其耐受性。 $T_a: 125^\circ$ 、附加电压：额定的 80%、附加时间：1000 h
7	交流电压 附加试验	通过长时间附加电气、温度应力，判定其耐受性。 $T_a: 125^\circ$ 、附加电压（峰值）：额定值、附加时间：1000 h
8	高温放置 试验	判定高温下保存时的耐受性。 $T_a: 125^\circ$ （额定最高保存温度）、附加时间：1000 h
9	低温放置 试验	判定低温下保存时的耐受性。 $T_a: -40^\circ$ （额定低温保存温度）、附加时间：1000 h
10	耐湿性试验	判定应对高温高湿状态下长时间使用以及保存的耐受性。 RH=90%、 $T_a: 60^\circ$ 、放置时间：1000 h

#### 5-3-2. 可靠性试验判定基准值

上述可靠性试验中判定元件老化的基准，依照以下项目及判定值。

- (1) 漏电流  $I_{ces}$ 、 $I_{ges}$  > 2.0 × 规格值
- (2) 饱和电压 > 1.2 × 规格值
- (3) 热阻抗 > 1.5 × 规格值

#### 5-3-3. 可靠性试验实施数

以下为可靠性试验的实施数以及合格与否判定基准。

- (1) 试验数 : 6 个
- (2) 合格与否判定基准 : 0、1

#### 5-3-4. 可靠性试验实施期间

以下为实施可靠性试验的时期。

- (1) 在完成初期试制品的时间点（开发阶段）实施可靠性试验

- (2) 在完成最终试制品的时间点（量产阶段）实施可靠性试验  
（同一构造体时，也可采用代表性产品进行替代性评价。）

### 5-3-5. 试验结果（代表性举例）

下表，列出了本公司具有代表性型号产品的可靠性试验项目及条件。

(1) 元件概要

型号：MBN1200E33E

额定：3300V/1200A

结温度：-40~125℃

(2) 试验项目与条件

试验数据：试验种类以及试验条件

表 5.3 可靠性试验的种类和试验条件

区分	试验项目	试验条件	试验个数	判定合格个数
热环境试验	高温放置试验	温度：125℃ 时间：1000h	6	6
	低温放置试验	温度：-40℃ 时间：1000h	6	6
	温度循环试验	-40℃~常温~125℃ 时间：各 60 分 次数：200 次	6	6
	耐湿寿命试验	温度：60℃ 湿度：90%R.H. 时间：1000h（在热疲劳条件下，通电 24 小时）	6	6
	高温高湿偏压试验	温度：85℃ 湿度：85%R.H. 电压：2.6kVDC 时间：1000h（在热疲劳条件下，通电 24 小时）	6	6
机械强度试验	可变频率振动试验	总振幅 10G、 100Hz~2kHz X、Y、Z 方向 各 2h	6	6
	可变频率振动试验	总振幅 1.5mm、 10Hz~55Hz X、Y、Z 方向 各 2h	6	6
	恒定频率振动试验	10G、 60±20Hz X、Y、Z 方向 各 32h	6	6
	撞击试验	100G、 6ms X、Y、Z 方向 各 3 次	6	6
	散热片紧固扭矩试验	规定扭矩 336h 室温放置 100μm 凸 Al 散热片	6	6
	端子紧固扭矩试验	规定扭矩 336h 室温放置 FA 散热片（20μm 以下） 5t 使用 Cu 板	6	6
电气性能试验	CE 间交流停振试验	VCE=3300Vp GE 间短路 Tj=125℃ 1000h	6	6
	CE 间直流停振试验	VCE=2、600VDC GE 间短路 Tj=125℃ 1000h	6	6
	GE 间交流停振试验	VGE=20Vp CE 间短路 Tj=125℃ 1000h	6	6
	热疲劳寿命试验	If=1200A □Tc=70℃ VGE=15V 30000 次 （注） IGBT：180°、二极管：90°导通	6	6
	冲击电流试验	If=1200A（仅 IGBT 通电：50Hz 全波） □Tj=60℃、100000 次	6	6
	静电破坏试验	200V、200pF、0Ω、CE 间短路	6	6
	绝缘耐压试验	附加 5700Vrms×8min.+4500Vrms×22min. 判定：结束试验时未破坏（10mA 以下）	6	6



## 6 章. 故障时的应对

### 6-1. IGBT 模块故障模式（电气故障模式）

当 IGBT 损坏时，请依照下列树形图调查损坏原因。该树形图有助于调查 IGBT 的损坏原因，但是，并不一定能够锁定原因。

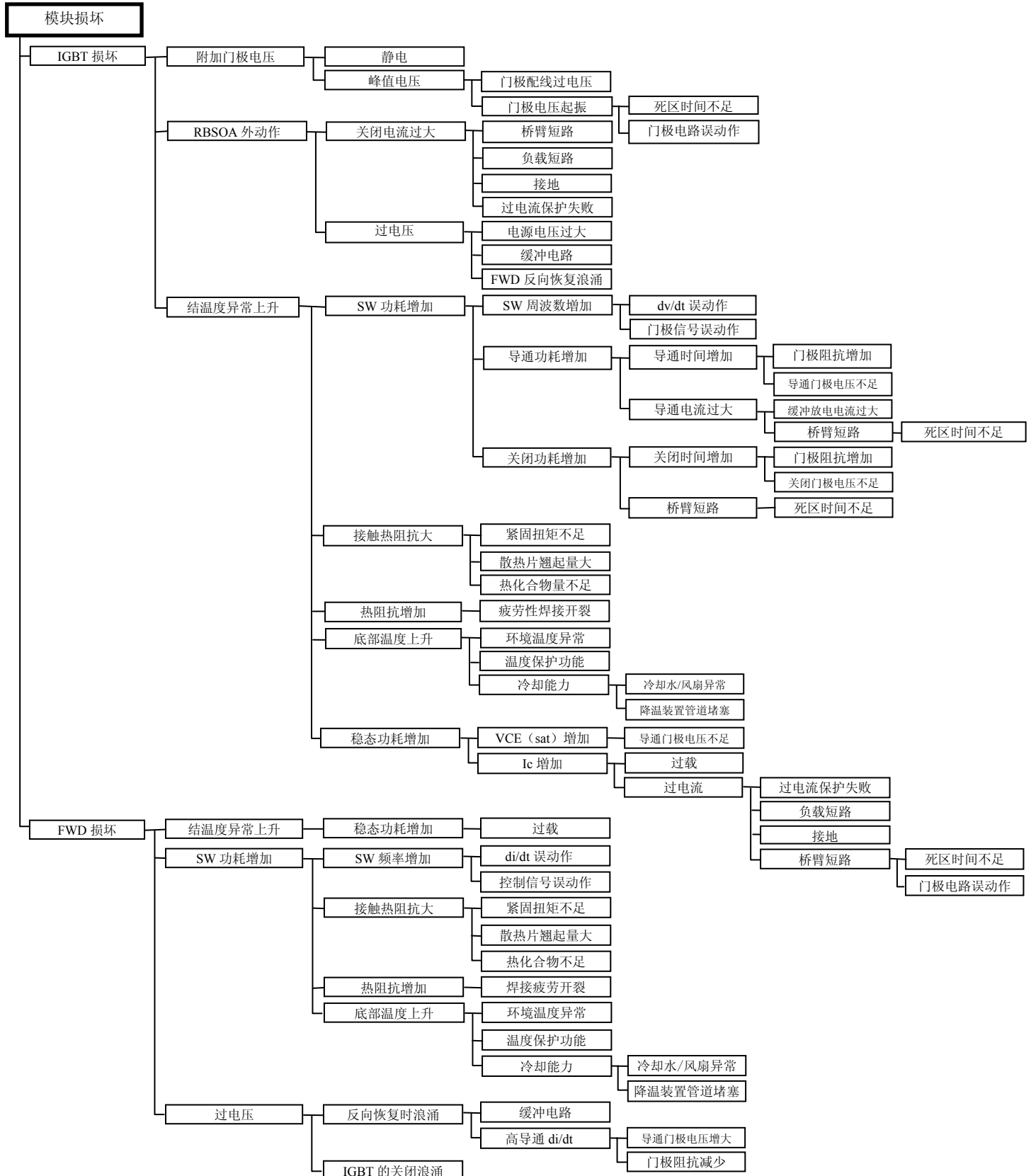


图 6.1 IGBT 模块的故障模式

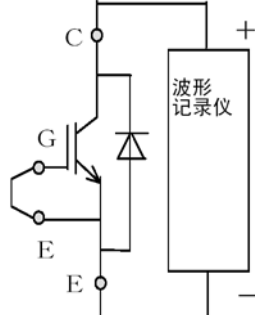
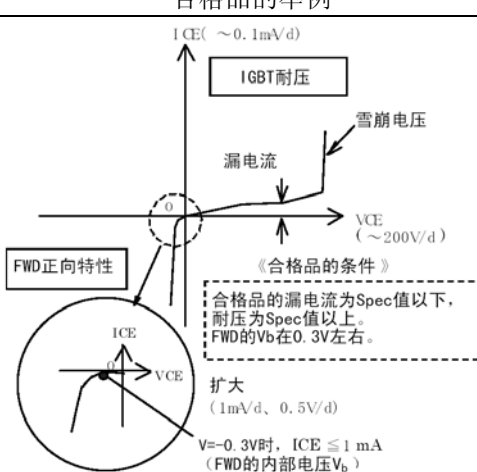
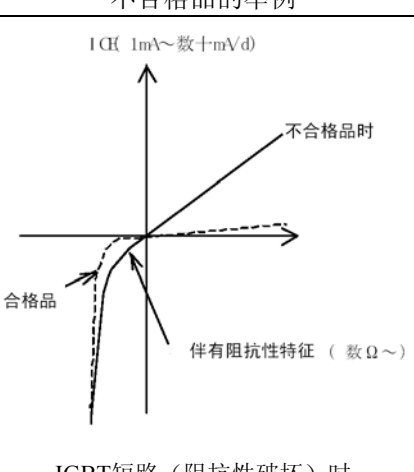
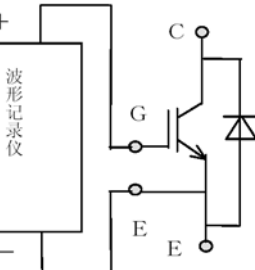
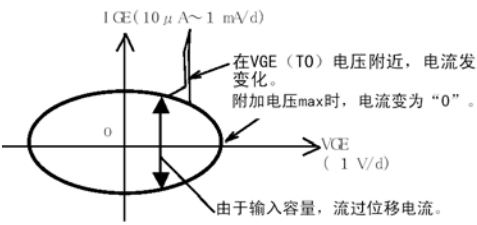
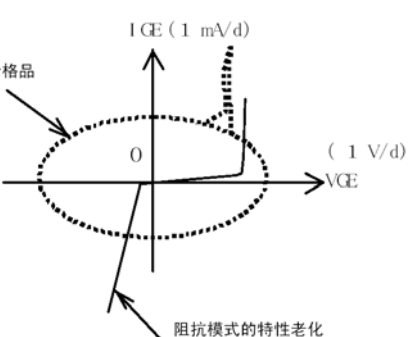
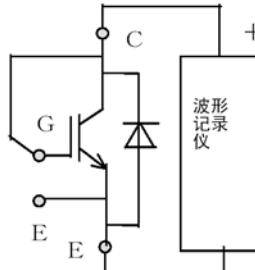
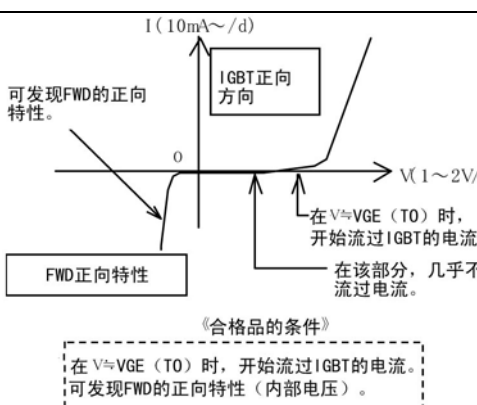
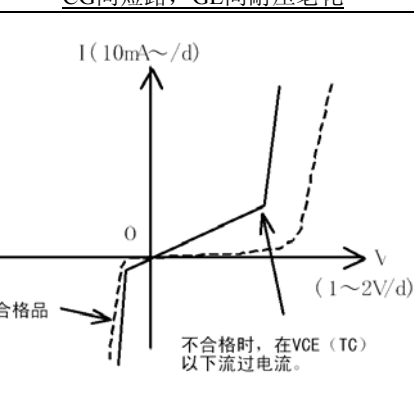
## 6-2. 产品检查方法

以下，介绍采用半导体波形记录仪，确认 IGBT 电气特性的方法。

下表中，介绍了根据各电流和电压数据，判定是否合格的事例。

当元件老化·损坏时，采用本方法可能会导致二次损坏，请注意。

表 6.1 元件特性的确认方法（参考）

No.	检查端子	波形记录仪的输出波形	
		合格品的举例	不合格品的举例
1	<p><b>C-E 间</b> (需要联结 G-E 间)</p> 	 <p>合格品的漏电流为 Spec 值以下，耐压为 Spec 值以上。FWD 的 <math>V_b</math> 在 0.3V 左右。</p> <p>合格品时 (波形记录仪为 AC 模式) (合格品的条件) 在 <math>V_{GE} (T_0)</math> 电压，电流发生变化。 附加电压 max 时，电流变为“0”。 即使是达到 Spec 值的附加电压，也没有漏电流。 由于输入容量，流过位移电流。</p>	 <p><b>IGBT 短路 (阻抗性破坏) 时</b></p>
2	<p><b>G-E 间</b></p> 	 <p>合格品时 (波形记录仪为 AC 模式) (合格品的条件) 在 <math>V_{GE} (T_0)</math> 电压，电流发生变化。 附加电压 max 时，电流变为“0”。 即使是达到 Spec 值的附加电压，也没有漏电流。 由于输入容量，流过位移电流。</p>	 <p><b>CG 间短路，GE 间耐压老化</b></p>
3	<p><b>C 与 G-E 间</b> (用于确认 IGBT 已经导通的试验。)</p> 	 <p>合格品时 (波形记录仪为 AC 模式) (合格品的条件) 在 <math>V \approx V_{GE} (T_0)</math> 时，开始流过 IGBT 的电流。 在该部分，几乎不流过电流。 可发现 FWD 的正向特性 (内部电压)。</p>	 <p><b>VGE (T0) 低下老化时</b></p>

\*1. 上表中，波形记录仪的测定模式被置于 AC (交流电源输出)。请根据需要，采用 DC 模式 (正、负电压输出) 进行观测。DC 模式时，由于位移电流小，难以观测漏电性的不合格。

\*2. 采用本方法，难以对模块绝缘耐压及温度变化导致的特性不合格进行确认。

\*3. 可采用电源电压为数伏的万用表等 (简易式万用表) 对元件特性进行检查。但是，该方法难以“完全掌握”元件的健全性。

## 7 章. 故障时的注意事项

### 7-1. 警告事项

#### 7-1-1. 对封装破裂的警告事项

#### 警告

- 发生负载短路及桥臂短路时，请在短时间内（数  $\mu\text{s}$  左右）关闭 IGBT 模块。  
封装可能会破裂。

由于短路时的能量蓄积于 IGBT 模块，可导致瞬时开放。  
因此，请注意以下各点。

- (1) IGBT 模块，应收纳于密闭箱子等内，并设计成即使破裂也不会对人造成危害。
- (2) 收纳 IGBT 模块的密闭箱子，应设计成通电过程中无法打开。

#### 7-1-2. 对烫伤、触电的警告事项

#### 警告

- 通电过程中，请勿触摸或者靠近产品。  
可导致烫伤、触电。

### 7-2. 注意事项

#### 注意

- IGBT 损坏后，请勿长时间（数百  $\mu\text{s}$  左右）流过短路电流。  
有冒烟、着火的危险。

尽管 IGBT 模块使用了 UL94V0 阻燃级材料，但是请采用保险丝加以保护。