

最新常用

IGBT

IGBT

速查手册

SUCHA SHOUCHE

本书编写组 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

最新常用 IGBT 速查手册

本书编写组 编

机械工业出版社

本书首先以快学速查的问答形式,介绍 IGBT 的基础知识与实用技能技巧,然后介绍 IGBT 具体型号的主要参数、特点、应用、内部结构、封装,从而满足读者快学 IGBT 知识、速查 IGBT 资料的需求。

本书内容全面、查阅简单、携带方便,是一本包含最新与常用 IGBT 知识和资料的书籍。本书适合各类学校师生使用,另外还可以供 IGBT 销售人员、电磁炉开发与维修人员、电磁加热设备开发与维修人员、变频器应用与维修人员、电源开发与维修人员、运动控制应用领域相关人员等读者查阅。

图书在版编目(CIP)数据

最新常用 IGBT 速查手册/本书编写组编. —北京:机械工业出版社, 2010.10

ISBN 978-7-111-31966-5

I. ①最… II. ①本… III. ①绝缘栅场效应晶体管-技术手册
IV. ①TN386.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 184015 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:林 桢 版式设计:霍永明

责任校对:肖 琳 封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.5 印张·531 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-31966-5

定价:47.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者服务部:(010)68993821

前 言

IGBT（绝缘栅双极型晶体管）是一种兼有双极型晶体管与场效应型晶体管优点的新型器件，其单管典型的内部结构就是场效应晶体管 + 双极型晶体管。

随着 IGBT 的不断发展，其在电力、工业、家用电器等领域中均得到了实际应用，而且往往属于核心器件，例如在电磁炉、变频器、不间断电源（UPS）、运动控制装置的功率输出级等设备中的应用就是如此。

为了使读者快速学习 IGBT 的基础知识与实用技能技巧，以及快速查阅 IGBT 具体型号的主要参数、特点、应用、内部结构、封装，特编写了本书。

全书由两章组成，第 1 章主要以快学速查问答形式介绍 IGBT 的基础知识与实用知识。本章内容丰富，既涉及 IGBT 本身知识，又涉及 IGBT 实际应用的技巧、设计开发等实用知识的介绍与解答，具体涉及的知识包括 IGBT 的概念、种类、参数名称、选择技巧、特性特点、应用、驱动方式、IGBT 驱动集成电路等内容。

第 2 章介绍了 IGBT 具体型号的主要参数、功能名称、特点、应用、封装等，并且排序合理，便于读者对 IGBT 的查阅。

本书内容全面、查阅简单、携带方便，是一本集最新与常用 IGBT 知识学习与资料速查的书籍。本书适合各类学校师生使用，另外还可以供 IGBT 相关应用、研发、销售、维修人员阅读。

本书由阳鸿钧、许小菊、欧小宝、任立志、阳梅开、阳红珍、许满菊、单冬梅、周维尊、周少华、肖艳、任杰、潘风华、黄庆、凌芳、阳荀妹、许应菊、曾利亭、郭俊、谢峰、许秋菊、阳红艳等同志不同程度参与或支持编写。另外，本书在编写中参考了一些资料以及得到了一些没有署名的同志的帮助。在此，一并表示感谢。

由于时间与水平有限，书中难免会存在不足，请读者批评指正。

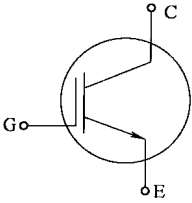
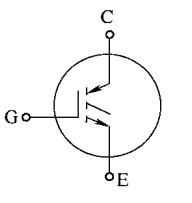
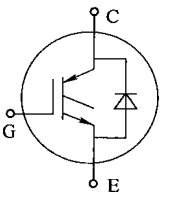
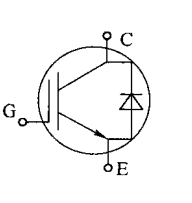
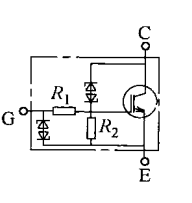
编者

本书使用说明

本书收录的 IGBT 是对可靠性要求一般的电子和电气设备用 IGBT，不包括应用于特殊产品中的 IGBT。

本书收录的 IGBT、IPM（智能功率模块）的特点、应用部分介绍仅为 IGBT、IPM 的部分应用，并不代表全部。参数一项仅为 IGBT、IPM 的部分介绍，并不代表全部。同时，需要注意极限参数与电气参数在应用中的要求存在不同，同时，参数一般是在一定条件下的参考值。本书均没有提供具体的一定条件，读者查阅时，请注意这一点。另外，IGBT 因规格改变或其他原因而导致产品数据也可能会有所调整，因此，产品数据应根据最新版本规格说明进行使用参考。

IGBT、IPM 的内部结构介绍中，本书内部结构图均以参见图×形式出现，仅为示意图。具体的图×与表 2-15 内部电路结构中的图编号相对应。例如，型号 1MB03D-120 的内部结构一项为内部结构图参见图 4，则就是对应表 2-15 内部电路结构中的图 4，具体位置如下所示。

内部电路与编号	内部电路与编号	内部电路与编号	内部电路与编号	内部电路与编号
 图 1	 图 2	 图 3	 图 4	 图 5

注：图 1 与图 4 是 GB/T 17007—1997 中规定和书刊中常见的 IGBT 图形符号，而图 2、图 3 为 GB/T 4708《电气简图用图形符号》规定采用的图形符号。

同时，需要注意第 2 章 IGBT 速查表中的内部结构、封装一栏中有内部电路结构名称，注意不要误认为是封装名称。内部结构、封装一栏中的封装部分介绍了封装的尺寸，具体尺寸放入括号内，并且位于封装名称后面。

目 录

前言

本书使用说明

第 1 章 IGBT 概述与应用技巧疑难解答	1
1.1 概述	1
【问 1】 理想开关的特点是怎样的?	1
【问 2】 什么是半导体开关管的开通损耗?	1
【问 3】 什么是半导体开关管的关断损耗?	1
【问 4】 什么是开关损耗?	1
【问 5】 开关的主动开通与被动开通是怎样的?	2
【问 6】 开关的主动关断与被动关断是怎样的?	2
【问 7】 什么是零电流开关?	2
【问 8】 什么是零电压开关?	2
【问 9】 什么是硬开关? 它的特点是怎样的?	2
【问 10】 什么是软开关? 它的特点是怎样的?	2
【问 11】 软开关电路的种类有哪些?	3
【问 12】 什么是中性开关?	3
【问 13】 什么是开关的单管与多管?	3
【问 14】 什么是 IGBT?	3
【问 15】 IGBT 的理想等效电路是怎样的?	3
【问 16】 什么是 PIM?	3
1.2 种类与结构	3
【问 17】 IGBT 的发展类型是怎样的?	3
【问 18】 不同类型的 IGBT 结构是怎样的?	4
【问 19】 蚀刻模块单元的微细化技术的特点是怎样的?	5
【问 20】 什么是 NPT 技术?	5
【问 21】 什么是 SPT 技术?	5
【问 22】 什么是 Trench 结构?	5
【问 23】 为什么 PT IGBT 不适合并联使用?	6
【问 24】 沟槽栅 IGBT 与平面栅 IGBT 的比较是怎样的?	6
【问 25】 IGBT 有哪些规格产品?	6
【问 26】 什么是三菱电机的 MPD?	6
【问 27】 富士电机 R-IPM、R-IPM3 系列的分类及特点是怎样的?	6
【问 28】 英飞凌与三菱电机 IGBT 模块系列速查是怎样的?	7
【问 29】 什么是 FWD 技术?	7
【问 30】 英飞凌的 IGBT4 与 IGBT3 共同的优点有哪些?	7
【问 31】 英飞凌的 IGBT4-T4 有哪些特点?	7
【问 32】 英飞凌的 IGBT4-E4 有哪些特点?	8
【问 33】 英飞凌的 IGBT4-P4 有哪些特点?	8
1.3 参数与性能及应用	8

【问 34】 IGBT 的主要参数速查是怎样的？	8
【问 35】 IGBT 的参数识读技巧是怎样的？	9
【问 36】 IGBT 的参数涉及的测量条件、定义内容速查是怎样的？	10
【问 37】 IGBT 常用参数是怎样定义的？	11
【问 38】 IPM 的主要参数有哪些？	12
【问 39】 DIP IPM 的主要参数有哪些？	13
【问 40】 DIP IPM 的参数涉及的测量条件、定义内容是怎样的？	14
【问 41】 IGBT 的输出特性是怎样的？	15
【问 42】 IGBT 的转移特性是怎样的？	16
【问 43】 IGBT 安全操作区的特点是怎样的？	16
【问 44】 IGBT 的电流规格 I_C 参数的选择技巧是怎样的？	16
【问 45】 怎样选择 IGBT 的电压等级？	17
【问 46】 IGBT 结温 T_j 参数是怎样选择与应用的？	17
【问 47】 IGBT 栅极电阻对 IGBT 特性与应用有什么影响？	17
【问 48】 怎样选择栅极电阻？	18
【问 49】 怎样估算栅极电阻？	18
【问 50】 怎样选择栅极电阻？怎样估算栅极电阻的功率能力？	18
【问 51】 怎样估算栅极电荷？	18
【问 52】 IGBT 应用时为什么不能够超过栅极最大额定电压？	18
【问 53】 栅极开通电压 $+V_{GE}$ 对饱和电压、短路电流的影响是怎样的？	18
【问 54】 栅极关断电压 $-V_{GE}$ 或选择 0V 对 IGBT 的影响是怎样的？	18
【问 55】 栅极电容 C_{GS} 有什么特点？对 IGBT 的驱动有什么影响？	18
【问 56】 IGBT 的正偏置电压 $U_{GE(ON)}$ 与 U_{CE} 、 E_{ON} 有什么关系？	19
【问 57】 怎样估算 IGBT 的开关损耗？	19
【问 58】 怎样估算 IGBT 通态损耗？	19
【问 59】 IGBT 的电流波形在导通过程中为什么会出现 I_r ？	19
【问 60】 IGBT 的电压波形在关断过程中为什么会出现 U_r ？	19
【问 61】 怎样选择 IGBT 续流二极管？	19
【问 62】 IGBT 的散热特点是怎样的？与什么参数有关联？	19
【问 63】 什么是热阻？怎样估计 IGBT 的热阻？	20
【问 64】 怎样估算 IGBT 的损耗？	20
【问 65】 IGBT 的散热器的安装技巧是怎样的？	20
【问 66】 IGBT 模块的螺钉安装技巧与技法是怎样的？	20
【问 67】 SKiPPACK 基本结构有什么特点？	21
【问 68】 什么是 IGBT 的短路耐受能力？	21
【问 69】 IGBT 的过电流保护有哪些类型？	21
【问 70】 IGBT 过电流检测电路有哪些类型？	22
【问 71】 IGBT 需要过电压保护的原因有哪些？	22
【问 72】 IGBT 过电压抑制的方法与电路有哪些？	22
【问 73】 晶体管与 IGBT 驱动要求的差别是什么？	23
【问 74】 IGBT 驱动电路有哪些种类？	23
【问 75】 IGBT 的栅极驱动电路是怎样的？	24
【问 76】 IGBT 驱动器的驱动功率、栅极电流怎样估算？	24
【问 77】 IGBT 驱动电路对开通正栅压 V_{GE} 有什么要求？	25
【问 78】 IGBT 驱动电路对关断负栅压 V_{GE} 有什么要求？	25

【问 79】 设计 IGBT 栅极驱动电路时有哪些注意事项?	25
【问 80】 IGBT 驱动器输出功率与 C_{ies} 、 C_{res} 、 C_{oen} 、 C_{GC} 、 C_{GE} 参数有什么关联?	25
【问 81】 对 IGBT 驱动电压上升速率有要求吗?	25
【问 82】 对同类型 IGBT 模块的电流有什么判断技巧?	26
【问 83】 IGBT 应用时, 其开关损耗为什么增大了?	26
【问 84】 IGBT 应用时, 为什么会有过大的 IGBT 电压尖峰?	26
【问 85】 栅极电阻与 IGBT 间的距离长了一点怎么办?	26
【问 86】 IGBT 应用时, 栅极电阻为什么会过热或烧毁?	26
【问 87】 IGBT 应用时, 为什么会有 EMI 噪声?	26
【问 88】 IGBT 应用时, 栅极回路为什么会振荡?	26
【问 89】 IGBT 在变频器中有应用吗?	26
【问 90】 IGBT 应用有哪些注意事项?	27
1.4 引脚端子	27
【问 91】 富士电机 IPM 主端子符号与其解说是怎样的?	27
【问 92】 DIP IPM 引脚功能与符号是怎样的?	27
【问 93】 IPM 引脚功能与符号是怎样的?	29
1.5 型号与批号	29
【问 94】 东芝 IGBT 的命名方法与规律是怎样的?	29
【问 95】 斯达半导体的 IGBT 的命名方法与规律是怎样的?	30
【问 96】 SEMIKRON 的 IGBT 的命名方法与规律是怎样的?	30
【问 97】 西门子系列的 IGBT 的命名方法与规律是怎样的?	32
【问 98】 英飞凌 (优派克) 系列的 IGBT 的命名方法与规律是怎样的?	32
【问 99】 IR 的 IGBT 的命名方法与规律是怎样的?	33
【问 100】 富士电机 IPM (智能功率模块) 的命名方法与规律是怎样的?	33
【问 101】 富士电机 IPM (智能功率模块) 的批号命名方法与规律是怎样的?	34
【问 102】 三菱电机 IGBT 模块命名方法与规律是怎样的?	34
【问 103】 三菱电机 IPM 命名方法与规律是怎样的?	34
【问 104】 三菱电机 L1 系列 IPM 命名方法与规律是怎样的?	35
【问 105】 三菱电机 IGBT 模块批号命名方法与规律是怎样的?	35
1.6 故障与检测	35
【问 106】 IPM 损坏的原因有哪些?	35
【问 107】 变频器中的 IGBT 损坏原因有哪些?	35
【问 108】 IGBT 简易检测方法是怎样的?	36
【问 109】 怎样检测双单元 IGBT?	37
1.7 其他	37
【问 110】 电机应用 IGBT 模块选型速查是怎样的?	37
【问 111】 富士电机 IGBT 模块引脚功能速查是怎样的?	37
【问 112】 英飞凌的 IGBT4-T4 与 IGBT4-T3 产品对应的替代是怎样的?	38
【问 113】 三菱电机 IGBT 模块、整流二极管适用相应电机、变频器 (通用) 速查是怎样的?	39
【问 114】 三菱电机 IGBT 模块接线方式与英飞凌接线方式的对应速查是怎样的?	40
【问 115】 IGBT 驱动专用集成电路的分类有哪些?	41
【问 116】 IGBT 驱动专用集成电路适用 IGBT 驱动模块速查是怎样的?	41
【问 117】 GH-038 型 IGBT 驱动专用集成电路是怎样的?	42
【问 118】 TX-KC101 型 IGBT 驱动专用集成电路是怎样的?	43
【问 119】 有关中英文对照速查是怎样的?	44

第 2 章 IGBT 速查	46
2.1 数字开头的 IGBT 速查	46
2.2 C 开头的 IGBT 速查	81
2.3 D 开头的 IGBT 速查	100
2.4 F 开头的 IGBT 速查	103
2.5 G 开头的 IGBT 速查	111
2.6 H 开头的 IGBT 速查	119
2.7 I 开头的 IGBT 速查	124
2.8 K 开头的 IGBT 速查	179
2.9 M 开头的 IGBT 速查	180
2.10 N 开头的 IGBT 速查	204
2.11 P 开头的 IGBT 速查	204
2.12 S 开头的 IGBT 速查	209
2.13 T 开头的 IGBT 速查	261
2.14 V 开头的 IGBT 速查	262
2.15 内部电路结构与图号	263
2.16 IGBT 外形与封装	284

第 1 章 IGBT 概述与应用技巧疑难解答

1.1 概述

【问 1】 理想开关的特点是怎样的？

【答】 理想开关的开关特性可以分为静态特性与动态特性。静态特性的特点如图 1-1 所示。理想开关的静态特性是从断开处的电阻来分析的。

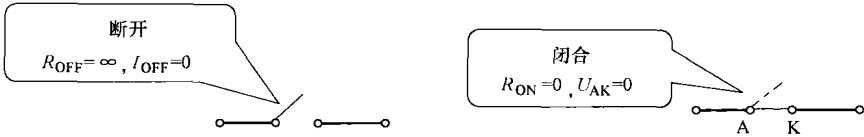


图 1-1 静态特性

动态特性的特点如图 1-2 所示。理想开关的动态特性是从动作的时间来分析的。

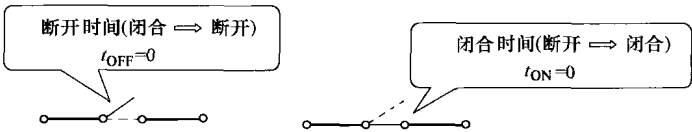


图 1-2 动态特性

理想开关的电压、电流的特点为：

闭合状态 $V_S = 0$ 、 $-\infty < I_S < \infty$

断开状态 $I_S = 0$ 、 $-\infty < V_S < \infty$

开关特性，可主动闭合与断开，没有能量转换

式中， V_S 、 I_S 图解表示如图 1-3 所示。

IGBT 主要工作在开关状态下，而且在应用中尽量使其工作在低损耗状态下。实际的 IGBT 应用受一些因素影响，不可能等于理想开关。但是，把理想开关作为追求目标，对于 IGBT 应用有一定的指导意义。

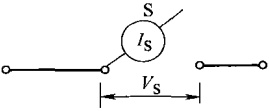


图 1-3 V_S 、 I_S 图解表示

【问 2】 什么是半导体开关管的开通损耗？

【答】 半导体开关管，顾名思义就是能够起类似开关作用的半导体器件，简称为开关管。场效应晶体管、晶体管、IGBT 均可以用作开关管。半导体开关管不是理想的开关器件，在开通时开关管的电压不是立即下降到零，而是需要一定的下降时间，也就是 t_{ON} 不为 0。同时，电流也不是立即上升到负载电流，也是需要一定的上升时间。在这段时间里，电压与电流有一个交叠区，产生损耗，这就是半导体开关管的开通损耗。

【问 3】 什么是半导体开关管的关断损耗？

【答】 半导体开关管关断时，半导体开关管的电压不是立即从零上升到电源电压，而是需要一定的上升时间。同时，电流也不是立即下降到零，也需要一定的下降时间。在这段时间里，电压与电流同时存在，产生损耗，这就是关断损耗。

【问 4】 什么是开关损耗？

【答】 开关管在工作时，产生的开通损耗与关断损耗统称为开关损耗，如图 1-4 所示。

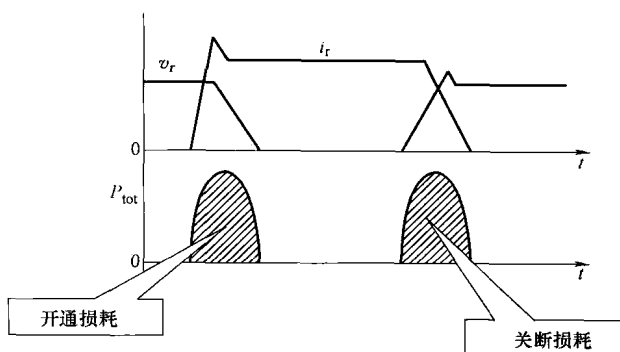


图 1-4 开关损耗

【问 5】 开关的主动开通与被动开通是怎样的？

【答】 开关的主动开通也就是开关能够在任意时刻开通，而且开通时间趋向 0 时，则开关开通也无损耗。开关的被动开通也就是开关的开通不能够在任意时刻开通，而应在一定的条件下才能实现，而一定的条件往往由外部电路工作条件等因素决定或者控制。

【问 6】 开关的主动关断与被动关断是怎样的？

【答】 开关的主动关断也就是开关能够在任意时刻关断，而且关断时间趋向 0 时，则开关关断也无损耗。开关的被动关断也就是开关的关断不能够在任意时刻关断，而应在一定的条件下才能实现，而一定的条件往往由外部电路工作条件等因素决定或者控制。

【问 7】 什么是零电流开关？

【答】 零电流开关简称 ZCS，全称为 Zero Current Switch。零电流开关的开关过程包括零电流开通或者零电流关断，通常不指出是开通或是关断，仅称为零电流开关。

零电流关断是该开关在没有能量转换的条件下，只能够在 $I_s = 0$ 时才能够实现关断，即开关特点受电流运行曲线决定，开关器件在关断的过程中，流通其中的电流为零。

零电流开通是利用与开关串联的电感能延缓开关开通后电流上升的速率，降低了开通损耗。

【问 8】 什么是零电压开关？

【答】 零电压开关简称 ZVS，全称为 Zero Voltage Switch。零电压开关的开关过程包括零电压开通或者零电压关断，通常不指出是开通或是关断，仅称为零电压开关。

零电压开通，该开关在没有损耗开通的条件下，只能够在 $V_s = 0$ 时开通的开关，即开关特点受电压运行曲线决定，开关器件在开通的过程中，加于其上的电压为零。

零电压关断是利用与开关并联的电容能延缓开关关断后电压上升的速率，从而降低关断损耗。

【问 9】 什么是硬开关？它的特点是怎样的？

【答】 硬开关简称 HS，其在开关过程中电压与电流均不为零，并且电压、电流变化很快，波形出现明显的过冲，导致产生开关噪声。

硬开关工作的五个不足之处妨碍了半导体开关器件工作频率的提高，如下：

- 1) 电磁干扰严重。
- 2) 二极管反向恢复的问题。
- 3) 感性关断电压尖峰大。
- 4) 开通和关断损耗大。
- 5) 容性开通电流尖峰大。

【问 10】 什么是软开关？它的特点是怎样的？

【答】 软开关是指半导体器件在开关过程中承受零电压或零电流，即在零电压条件下导通

(或关断), 在零电流条件下关断 (或导通)。软开关在开关开通与关断过程中, 电压与电流波形几乎不重叠。软开关可以实现在导通与关断时损耗降到很低。

【问 11】 软开关电路的种类有哪些?

【答】 软开关电路的种类如下:

- 1) 根据开关器件开通与关断时电压、电流的状态, 分为零电压软开关电路、零电流软开关电路。
- 2) 根据软开关技术发展的历程, 可以分为准谐振软开关电路、零开关 PWM 软开关电路、零转换 PWM 软开关电路等。
- 3) 根据软开关电路基本类型可以分为降压型软开关电路、升压型软开关电路等。

【问 12】 什么是中性开关?

【答】 中性开关简称为 NS, 它是指开关电压与开关电流在开关瞬间时都为 0。

【问 13】 什么是开关的单管与多管?

【答】 开关的单管就是利用一只单独的管子作为开关管, 它的开关过程属于单开关循环开关过程。开关的多管是利用多只管子共同担任开关管, 它的开关过程属于多管换相的循环开关过程。

【问 14】 什么是 IGBT?

【答】 IGBT 是 Insulated Gate Bipolar Transistor 的缩写, 意为绝缘栅双极型晶体管。IGBT 是由 BJT (双极型晶体管) 与 MOSFET (绝缘栅型场效应晶体管) 组成的复合全控型电压驱动式电子器件。IGBT 在交流电机、变频器、开关电源、照明电路、牵引传动、数码相机、电磁加热设备、UPS、电焊机、风力发电等领域中广泛应用。IGBT 模块将功率硅片集成在绝缘封装内使其适用的功率范围小到 1kW 以下, 大到 1MW 以上。

【问 15】 IGBT 的理想等效电路是怎样的?

【答】 IGBT 属于电压控制型元件。IGBT 的内部基本结构理想等效电路就是由 PNP 双极型晶体管与 MOSFET 连接形成的单片型晶体管, 如图 1-5 所示。

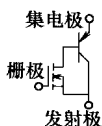


图 1-5 IGBT 基本结构理想等效电路

从基本结构理想等效电路来分析, 当在 IGBT 的栅极—发射极间外加正电压时, MOSFET 导通, 则 PNP 双极型晶体管因基极—集电极间呈低电平, 而处于导通状态。

当在 IGBT 的栅极—发射极间外加负电压时, MOSFET 截止, PNP 双极型晶体管处于截止状态。

IGBT 是通过控制内部的 MOSFET, 达到对内部双极型晶体管的控制。即其触发点是 MOSFET, 因此, IGBT 也是通过电压信号控制其开通与关断动作的器件。

当然, 实际的 IGBT 基本结构复杂程度与种类均比基本结构理想等效电路丰富些。因此, 实际的 IGBT 具有丰富的等效电路, 例如图 1-6 所示就是其中一例, 其他的一些 IGBT 内部等效电路可以参见书后各型号 IGBT 的内部等效电路。

【问 16】 什么是 PIM?

【答】 PIM 是 Power Integrated Module 的缩写, 意为功率集成模块。PIM 是为降低损耗与降低成本, 在 IGBT 的模块中内置整流模块电路、逆变主回路、再生回路和保护回路的新型模块。

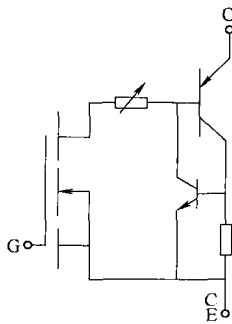


图 1-6 内部等效电路一例

1.2 种类与结构

【问 17】 IGBT 的发展类型是怎样的?

【答】 IGBT 从 20 世纪 80 年代研制成功到现在, 经历了不同的发展阶段, 从而也具有了相应

的类型，具体见表 1-1。

表 1-1 IGBT 的发展类型

类 型	特 点
第 1 代 IGBT (IGBT1、Ver. 1、1st Gen)	IGBT1 主要是 PT(穿通)型 IGBT 第 1 代 IGBT 采用“平面栅”结构,在外延片上制备。IGBT 设计在 P 掺杂的底板晶圆上
第 2 代 IGBT (IGBT2、Ver. 2、2nd Gen)	IGBT2 主要是 NPT(非穿通)型 IGBT 第 2 代 IGBT 采用“平面栅”结构,在外延片上制备。IGBT2 采用最优化理念,具有更快速关断、更低的开关损耗以及更耐用性。饱和电压、下降时间比第 1 代 IGBT 降低 30% 日立公司 IGBT2 比 IGBT1 在导通电阻方面比原来降低了 30%,闭锁电流由原来的 $300\text{A}/\text{cm}^2$ 改善为 $1100\text{A}/\text{cm}^2$ 三菱公司 IGBT2 比 IGBT1 的关断时间由 12ms 减少到 0.19ms
第 2.5 代 IGBT、Ver. 2.5	第 2.5 代 IGBT 主要是采用了抑制寄生器件
第 3 代 IGBT (IGBT3、Ver. 3、3rd Gen)	IGBT3 主要是 Trench FS(沟槽场终止)型 IGBT 第 3 代 IGBT 采用“平面栅”结构,设计规则已从 $5\mu\text{m}$ 改进到 $3\mu\text{m}$ 。IGBT3 有的具有沟槽栅结构,沟槽栅可以降低饱和电压,维持开关速度。IGBT3 有的也具有场终止层,场终止层可以减小芯片厚度,降低饱和电压 第 3 代 IGBT 功耗比第 2 代 IGBT 功耗降低了 20%
第 4 代 IGBT (IGBT4、Ver. 4、4th Gen)	第 4 代 IGBT 基本上是基于已知的 IGBT3 沟槽栅结构并结合经优化的包含 n^- 衬底、 n 场终止层、后端发射极的纵向结构。与第 3 代 IGBT 相比,具有总损耗更低、芯片面积更小、pn 结最高结温高至 175°C 等特点 第 4 代 IGBT 技术包括: FWD(续流二极管)技术、蚀刻模块单元微细化技术、NPT 技术
第 5 代 IGBT (IGBT5、Ver. 5、5th Gen)	第 5 代 IGBT 采用了弱穿通(LPT)芯片结构,又采用了更先进的宽元胞间距的设计,实现有选择的寿命控制,饱和电压降到 1.5V、关断下降时间降到 0.1ms。例如,三菱电机公司第 5 代 IGBT 具有下列特点:1)在沟槽的 IGBT 基础上增加电荷蓄积层的新结构,改善关断损耗 E_{OFF} 与集电极-发射极间饱和电压 $V_{\text{CE(sat)}}$ 的平衡性。2)嵌入单元技术的使用,增加了耐短路能力,并且降低了栅极容量,进而降低驱动功率。3)三菱电机公司第 5 代 IGBT 的 600V 芯片一般采用 PT 结构,1200V 芯片一般采用 LPT(弱穿通)结构
第 6 代 IGBT (IGBT6、Ver. 6)	第 6 代 IGBT 模块进一步提高了效率,以及降低了噪声, $V_{\text{CE(sat)}}-E_{\text{SWOFF}}$ 折中关系得到显著改善,IGBT 的功率损耗与短路安全工作区(SCSOA)间折中关系得到显著改善 第 6 代 IGBT 的二极管有的采用第 6 代 LPT 硅片技术,正向导通压降低,硅片结温可高达 175°C ,硅片运行温度最高可达 150°C

注: 1. IGBT 平面发展方向: 平面型——沟槽型——软沟槽型。

2. IGBT 垂直发展方向: 穿通——非穿通——场终止(软穿通)。

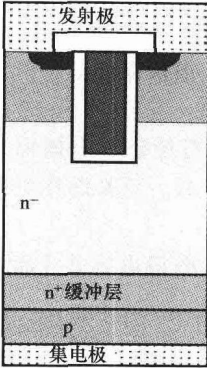
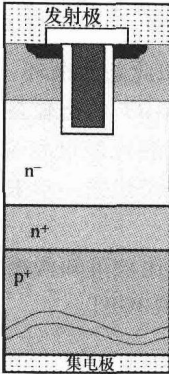
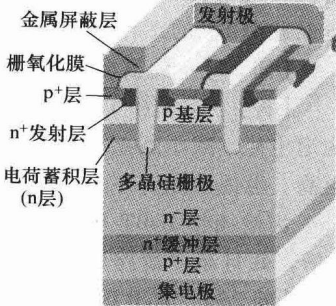
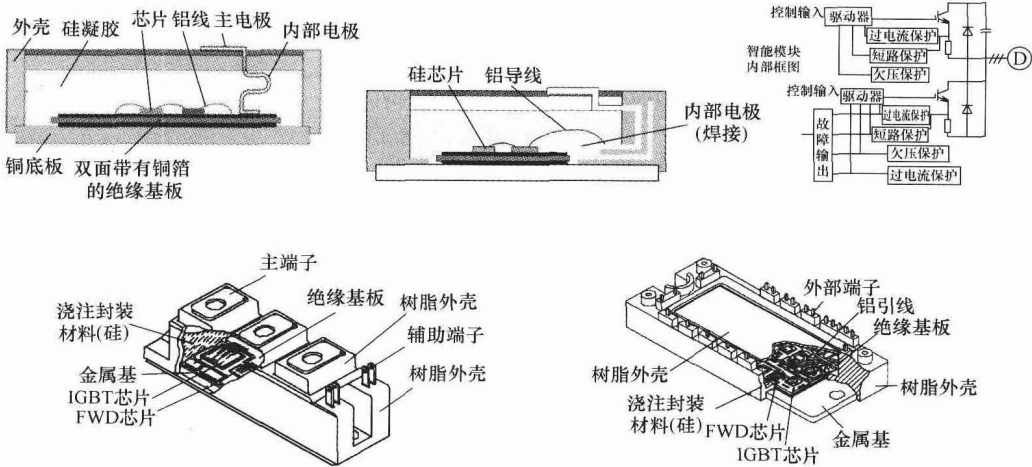
【问 18】 不同类型的 IGBT 结构是怎样的?

【答】 不同类型的 IGBT 结构见表 1-2。

表 1-2 不同类型的 IGBT 结构

名称	非穿通(NPT)型 IGBT	软穿通(SPT)型 IGBT	沟槽(Trench)型 IGBT
图			

(续)

名称	弱穿通 (LPT) 型 IGBT	穿通 (PT) 型 IGBT	电荷积累双极型晶体管 (CSTBT™)
图			
名称	模块基本结构		
图			

【问 19】 蚀刻模块单元的微细化技术的特点是怎样的？

【答】 蚀刻模块单元的微细化技术，是第 4 代 IGBT 中应用的技术。蚀刻模块单元的微细化技术可使栅极的宽度达到最佳化设计。因此，集电极—发射极间的饱和电压 $V_{CE(sat)}$ 可降低 0.5V，从而使开关损耗降低。

【问 20】 什么是 NPT 技术？

【答】 NPT 是 Non Punch Through（非穿通）的缩写。采用 NPT 技术可以降低正向电压 V_F 和恢复损耗 E_{rr} 。一般使 FWD 的 V_F 降低 0.4 ~ 0.5V，总损耗减少 20%。

【问 21】 什么是 SPT 技术？

【答】 它是基于平面栅/软穿通（SPT）型 IGBT 技术，额外地在 n 衬底下加了 n⁺ 缓冲层。这个狭长的 n 结合区使得通态压降和开关损耗都比 NPT 型 IGBT 的要小。

【问 22】 什么是 Trench 结构？

【答】 Trench（沟槽）结构使得栅极每一个阵列晶胞与扩散层垂直相交。这种沟槽栅技术可以获得更小的晶胞结构以及更大的电流密度（Trench 芯片比 NPT 和 SPT 的芯片更小，而且具有最大的电流密度），并且 Trench 的饱和压降是最低的。

【问 23】 为什么 PT IGBT 不适合并联使用？

【答】 当多个电力电子器件并联使用时，需要使各个器件合理分配工作电流，例如，当两个相同型号的电力电子器件并联使用时，应当使每个器件分配的工作电流相同。对于 PT 型 IGBT 并联使用的情况，当某个 IGBT 的工作温度升高，会造成它的 V_{CE} 降低，使它的工作电流加大，从而造成此 IGBT 的工作温度进一步升高，如此恶性循环，会导致此 IGBT 很快损坏。

【问 24】 沟槽栅 IGBT 与平面栅 IGBT 的比较是怎样的？

【答】 沟槽栅 IGBT 与平面栅 IGBT 相比较可发现沟槽栅 IGBT 具有使硅片有效面积增大、减小沟道电阻、减小通态损耗、使 IGBT 单元面积进一步缩小、电流密度增高、开关损耗更低、击穿电压更高、耐锁定能力更强等优点。

沟槽栅型 IGBT 与平面栅型 IGBT 相比较可知沟槽栅的缺点就是其栅极电容是平面栅型 IGBT 的 3 倍，并且承受短路能力也不及平面栅型 IGBT。

【问 25】 IGBT 有哪些规格产品？

【答】 IGBT 依据不同的标准，具有不同的规格，具体见表 1-3。

表 1-3 IGBT 的规格

依 据	规 格
电压等级	600V、1200V、1700V 等
电流等级	50A、75A、100A、150A、200A、300A、400A 等
结构	单管、半桥、三相桥、七单元模块、六单元模块等 单管电流 15 ~ 400A、电压 400 ~ 1200V 等 半桥电流 15 ~ 75A、电压 500 ~ 1000V 等 全桥电流 18 ~ 32A、电压 400 ~ 500V 等 三相 IGBT 电流 15 ~ 100A、电压 400 ~ 1200V 等
特性	低损耗 (Low loss) 快速、标准 (Standard)、超快速 (Ultrafast) 等
封装	TO-3P、DPAK、TO-220、M711 等

【问 26】 什么是三菱电机的 MPD？

【答】 MPD 即 Mega Power Dual (大容量两单元) 的简称。MPD 就是三菱 IGBT 模块中的 900A 以上的两单元 IGBT 模块的总称。

【问 27】 富士电机 R-IPM、R-IPM3 系列的分类及特点是怎样的？

【答】 富士电机 R-IPM、R-IPM3 系列的分类及其特点见表 1-4。

表 1-4 富士电机 R-IPM、R-IPM3 系列的分类及其特点

分 类	分类依据	特 点
小容量型	600V 系列 15 ~ 30A、1200V 系列 15A	小容量型 R-IPM、R-IPM3 系列产品采用 P617、P619 封装。其中，P619 封装产品为铜底板型，散热性能有所提高。P617 封装产品为无铜底板型，主端子形状是扣接端子形，与控制输入端子高度相同。采用 IGBT 芯片过热保护，防止因芯片异常发热而引起的损坏
中容量型(仅下臂输出报警)	600V 系列 50 ~ 150A、1200V 系列 25 ~ 75A	中容量型产品(仅下臂输出报警)采用 P610、P611 封装。具有以下特点： 1) 封装结构有主电源输入(P、N)、制动输出(B)、输出端子(U、V、W)等 2) 通过采用 IGBT 芯片过热保护，防止因芯片异常发热而引起的损坏 3) 上臂无报警输出，下臂输出报警 4) 主端子使用 M5 螺钉，能可靠连接大电流的导线 5) 电气连接全部使用螺钉及连接器，无须锡焊

(续)

分 类	分类依据	特 点
中容量型(配置上臂报警输出功能)	600V 系列 50 ~ 150A、1200V 系列 25 ~ 75A	中容量型产品(配置上臂报警输出功能)采用 P621 封装。具有以下特点: 1) 可从上臂输出 OC(过电流)、SC(短路)、UV(欠电压)、 T_{JOH} (结温过热)报警信号 2) 电气连接全部使用螺钉及连接器,无须锡焊 3) 通过采用 IGBT 芯片过热保护,防止因芯片异常发热而引起的损坏 4) T_{cOH} (外壳过热)报警只从下臂输出 5) 主端子为 M5 螺钉,能可靠连接大电流的导线 6) 安装到散热器上的螺钉直径与主端子同为 M5
大容量型(仅下臂输出报警)	600V 系列 200 ~ 300A、1200V 系列 100 ~ 150A	大容量型(仅下臂输出报警)产品采用 P612 封装,具有以下特点: 1) 控制输入端子排列与中容量标准封装相同 2) 封装结构是:主电源输入(P、N)、制动输出(B)以及输出端子(U、V、W)分别邻近配置,主配线容易连接 3) 电气连接全部使用螺钉及连接器,无须锡焊 4) 通过采用 IGBT 芯片过热保护,防止因芯片异常发热而引起的损坏 5) 上臂无报警输出 6) 主端子为 M5 螺钉,能可靠连接大电流的导线 7) 安装到散热器上的螺钉直径与主端子同为 M5

【问 28】 英飞凌与三菱电机 IGBT 模块系列速查是怎样的?

【答】 英飞凌与三菱 IGBT 模块系列速查见表 1-5。

表 1-5 英飞凌与三菱 IGBT 模块系列速查

系 列	英 飞 凌	三 菱 电 机
第 1 代	PT 型,型号后缀为 DN1	
第 2 代	NPT 型,型号后缀为 DN2/DLC/S4	
第 3 代前期	沟槽栅+场终止型,后缀为 T3/E3	H 系列
第 3 代后期		U 系列、KA 系列、FS/GD
第 4 代	型号后缀为 T4/E4/P4	F 系列、DUS 系列(高频)
第 5 代		NF/A 系列、NFH 系列、MPD

【问 29】 什么是 FWD 技术?

【答】 FWD 是 Free Wheeling Diode(续流二极管)的缩写。FWD 技术是第 4 代 IGBT 中应用的技术。它是在 IGBT 模块中应用了降低正向电压(V_F)的二极管,从而可以降低损耗。据测试在 600V 和 1200V 系列中,逆变器载波频率为 10kHz 时产生的损耗与 IGBT 旧系列相比可降低 20%。

【问 30】 英飞凌的 IGBT4 与 IGBT3 共同的优点有哪些?

【答】 英飞凌的 IGBT4 与 IGBT3 共同的优点为饱和电压低、短路承受时间为 10 μ s、正饱和电压温度系数等。

【问 31】 英飞凌的 IGBT4-T4 有哪些特点?

【答】 英飞凌的 IGBT4-T4 为小、中容量应用优化设计的版本,其是在 T3 的基础上使关断波形更平滑一些以及提升开关速度。其一般用于小容量,因此电压等级为 1200V,适用开关频率不大于 20kHz。英飞凌的 IGBT4-T4 配用小容量 EmCon4 二极管。

【问 32】 英飞凌的 IGBT4-E4 有哪些特点？

【答】 英飞凌的 IGBT4-E4 为中、大容量应用优化设计的版本，其是在 E3 的基础上使关断波形更平滑一些以及提升开关速度。它一般用于中、大容量，因此电压等级为 1200V、1700V，适用开关频率不大于 8kHz。英飞凌的 IGBT4-E4 配用中容量 EmCon4 二极管。

【问 33】 英飞凌的 IGBT4-P4 有哪些特点？

【答】 英飞凌的 IGBT4-P4 为大容量应用优化设计的版本，其是在 E3 的基础上降低关断速度、使关断过程“柔软”。它一般用于大容量，因此电压等级为 1200V、1700V，适用开关频率不大于 3kHz。英飞凌的 IGBT4-P4 配用大容量 EmCon4 二极管。

1.3 参数与性能及应用

【问 34】 IGBT 的主要参数速查是怎样的？

【答】 IGBT 的主要参数速查见表 1-6。

表 1-6 IGBT 的主要参数速查

符号	名 称
B	B 值(B value)。表示在电阻与温度特性上任意两个温度间的电阻变化大小的常数
C_{ies}	输入电容(Input capacitance)。IGBT 输入电容在开关期间是变化的
C_{oes}	输出电容(Output capacitance)
C_{res}	反向传输电容(Reverse transfer capacitance)
di_c/dt	集电极电流的上升与下降速率
di_f/dt	正向电流(二极管)的上升与下降速率。 di_f/dt 由给定的 IGBT 栅极电阻 $R_{G(ON)}$ 决定
dv_{CE}/dt	集电极—发射极电压的上升或下降速率
E_{OFF}	关断期间的能量耗散
E_{ON}	导通期间的能量耗散
f_{sw}	开关频率
I^2t	FWD 的电流二次方时间积,该参数属于绝对最大额定值
I_C	集电极电流(集电极容许的最大直流电流(Collector current)),该参数属于绝对最大额定值
$-I_C$	内置二极管上容许的最大直流正向电流,该参数属于绝对最大额定值
$I_{C\ PULSE}$	集电极的电极上容许的最大脉冲电流,该参数属于绝对最大额定值
$-I_{C\ PULSE}$	内置二极管上容许的最大脉冲正向电流,该参数属于绝对最大额定值
I_{CES}	集电极—发射极间断路电流(Zero gate voltage collector current)
I_{FSM}	FWD 的正向峰值浪涌电流,该参数属于绝对最大额定值
I_G	栅极电流
I_{GES}	栅极—发射极间的漏电流(Gate-emitter leakage current)
I_{GM}	栅极电流峰值。增大栅极峰值电流将减少导通与关断时间以及开关损耗
I_{GRMS}	栅极电流有效值
I_{rr}	反向恢复电流。反向恢复电流随换相速度 di_f/dt 增大
$I_{rr(Irp)}$	反向恢复电流(Reverse recovery current)
I_{RRM}	反向恢复峰值电流。 I_{RRM} 的增大也会造成较高的续流二极管关断功率损耗
L_{wire}	绕线电感
L	杂散电感
P_C	最大集电极损耗(Collector power dissipation),该参数属于绝对最大额定值
P_G	栅极电阻的功率耗散