

电子工程手册系列丛书

B14

功率模块电路数据及 应用手册

(上)

申本奇 刘和益 左春英 编



电子工业出版社

电子工程手册系列丛书

B14

功率模块电路数据及 应用手册

(上)

申本奇 刘和益 左春英 编



电子工业出版社

内 容 提 要

本书分为上下两册。上册共三章,第一章介绍 IGBT 绝缘栅双极型晶体管模块,包括高速型、低饱和型,第二章介绍 MOS-FET 场效应晶体管模块,包括高速型、低饱和型。主要以 TOSHIBA 产品为主,介绍了 232 种模块,给出了它们的应用说明、封装图、等效电路、电特性参数以及特性曲线等完整的数据资料。此外,还对晶体管的电特性以及散热设计进行了阐述。本书所介绍的产品在国内外以得到了广泛应用,主要用于 UPS 电源、医疗设备、电机驱动等领域。

本书采用计算机排版,编排新颖,查阅方便,内容丰富,是一本实用性很强的工具书。

本书适宜于整机、器件厂从事生产、科研、计划、销售等各方面的技术人员、管理人员、设备维修人员以及有关专业的院校师生与广大电子爱好者阅读。

电子工程手册系列丛书
功率模块电路数据及应用手册
(上)

申本奇 刘和益 左春英 编
特约编辑 孙人杰
责任编辑 龚兰方

*

电子工业出版社出版(北京万寿路)
电子工业出版社发行 各地新华书店经销
北京牛山世兴印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张 58.25 字数:1412 千字

1996 年 3 月第一版 1996 年 3 月北京第一次印刷

印数:2000 册(精) 定价:98.00 元

ISBN7-5053-3265-1/TN·907(精)

集成电路手册编委会：

主任委员：童本敏

委员：(按姓氏笔划为序)

刘和益 孙人杰 杨为理 胡恩蔚

夏仁霖 钱学俭 高信令 郭延龄

龚兰方 路民峰 崔忠勤 蔡明政

本册主编：申本奇 刘和益 左春英

前 言

半导体器件经历了二极管、晶体管、集成电路、大规模集成电路的发展过程。近年来,大规模集成电路已广泛用于自动控制、计算机、仪器仪表等各个领域、各个行业。尽管半导体器件的集成度不断提高,但分立半导体器件的突出性能使其在大功率器件领域仍然占有重要的地位。本手册介绍的功率模块近年来发展很快,成为一支不可忽视的半导体器件的生力军。功率模块将许多独立的大功率晶体管、自由调相二极管、MOS-FET集合在一起封装在一个外壳中。其电极与散热片相隔离,电路多样化包括独立的半桥、H桥、三相电桥等,其突出的特点是:大电流、低功耗,电压、电流范围宽,电压高达1200 V,电流高达400A。功率模块广泛用于UPS电源、各种类型的电机控制驱动、电梯电机控制、大功率开关应用、医疗设备、换能器等。

功率模块包括双极型达林顿晶体管模块、MOS-FET(MOS场效应)模块以及IGBT绝缘栅双极晶体管模块等,按速度功耗又划分为高速型和低饱和压降型。本手册以日本TOSHIBA产品为主,全面介绍了IGBT绝缘栅双极型晶体管模块、MOS-FET MOS场效应晶体管模块的各种类型产品性能、特点、参数、封装形式。以便帮助读者了解功率模块产品性能及技术,更好地使其用于设备的微型化。半导体器件厂在制造功率模块生产中也可以得到帮助。

本书由申本奇、刘和益、左春英等同志编选,刘健、刘彤、孙海泉、申正、李茁彤、卢炯、李梁良、贾文皓等同志参加部分编写及排版工作。本书采用计算机排版,编排新颖,内容丰富。

编 者

目 录

第一章 IGBT模块

IGBT 说明	1-1	MG15J6ES1	1-122
技术数 据	1-23	MG25J2YS9	1-127
1. 分离式 IGBT	1-23	MG25J6ES1	1-131
GT8J101	1-25	MG50J2YS9	1-136
GT8J102(SM)	1-28	MG50J6ES1	1-140
GT15J101	1-31	MG75J2YS9	1-145
GT15J102	1-34	MG75J6ES1	1-149
GT15J103(SM)	1-37	MG100J2YS9	1-154
GT25J101	1-40	MG100J6ES1	1-158
GT50J101	1-43	MG150J2YS2	1-163
GT60J101	1-46	MG200J2YS2	1-167
GT8Q101	1-50	MG300J1US1/J2YS9	1-171
GT15Q101	1-53	MG400J1US1/2	1-175
GT25Q101	1-56	MG8Q6ES1	1-179
GT50M101	1-59	MG15Q2YS9	1-184
GT60M102	1-63	MG15Q6ES1	1-188
GT60M103	1-67	MG25Q1BS1	1-193
GT60M104	1-71	MG25Q2YS9	1-197
GT10G101	1-75	MG25Q6ES1	1-201
GT10G102	1-78	MG50Q1BS1	1-206
GT15G101	1-81	MG50Q2YS9	1-210
GT20G101	1-84	MG50Q6ES1	1-214
GT20G102	1-87	MG75Q2YS1	1-219
GT20G101(SM)	1-90	MG100Q2YS1	1-223
GT20G102(SM)	1-93	MG100Q2YS9	1-227
GT25G101	1-96	MG150Q2YS1	1-231
GT25G102	1-99	MG150Q2YS9	1-235
GT25G101(SM)	1-102	MG200Q1US1	1-239
GT25G102(SM)	1-105	MG200Q2YS1	1-243
GT20D101	1-108	MG200Q2YS9	1-247
GT20D201	1-111	MG300Q1US1	1-251
2. 第二代通用型 IGBT(高速型)	1-115	MG300Q1US2	1-255
MG8J6ES1	1-117	MG400Q1US1/2	1-259

MG500Q1US1/2-----1-263	MG50J6ES40-----1-407
3. 第二代通用型 IGBT(低饱和型)---1-267	MG75J1ZS40-----1-411
MG25J1BS11-----1-269	MG75J2YS40-----1-415
MG30J6ES11-----1-273	MG75J6ES40-----1-419
MG50J1BS11-----1-278	MG100J1ZS40-----1-424
MG50J2YS91-----1-282	MG100J2YS40-----1-428
MG75J1BS11-----1-286	MG100J6ES40-----1-432
MG75J2YS91-----1-290	MG150J2YS40-----1-436
MG100J1BS11-----1-294	MG200J2YS40-----1-440
MG100J2YS91-----1-298	MG300J2YS40-----1-444
MG100J6ES91-----1-302	MG400J1US41/42-----1-448
MG150J2YS21-----1-307	MG8N6ES40-----1-452
MG200J2YS21-----1-311	MG15N6ES40-----1-454
MG300J2YS91-----1-315	MG25N6ES40-----1-456
MG400J1US11/21-----1-319	MG25N2YS40-----1-458
MG25Q1BS11-----1-323	MG50N2YS40-----1-460
MG25Q2YS91-----1-327	MG50N6ES40-----1-462
MG50Q1BS11-----1-331	MG75N2YS40-----1-464
MG50Q2YS91-----1-335	MG100N2YS40-----1-466
MG50Q6ES11-----1-339	MG150N2YS40-----1-468
MG75Q1BS11-----1-344	MG200N1US41-----1-470
MG75Q2YS11-----1-348	MG200N2YS40-----1-472
MG100Q2YS11-----1-352	MG300N1US41/42-----1-474
MG100Q2YS91-----1-356	MG400N1US41/42-----1-476
MG150Q2YS11-----1-360	MG8Q6ES40-----1-478
MG150Q2YS91-----1-364	MG15Q6ES40-----1-480
MG200Q2YS11-----1-368	MG25Q6ES40-----1-482
MG200Q2YS91-----1-372	MG25Q2YS40-----1-484
MG300Q1US11/21-----1-376	MG50Q2YS40-----1-486
MG400Q1US11/21-----1-380	MG50Q6ES40-----1-488
MG500Q1US11/21-----1-384	MG75Q2YS40-----1-490
4. 先进第二代通用型 IGBT(高速型)-1-389	MG100Q2YS40-----1-492
MG8J6ES40-----1-391	MG150Q2YS40-----1-494
MG15J6ES40-----1-393	MG200Q1US41-----1-496
MG25J2YS40-----1-395	MG200Q2YS40-----1-498
MG25J6ES40-----1-397	MG300Q1US41/42-----1-500
MG50J1ZS40-----1-399	MG400Q1US41/42-----1-502
MG50J2YS40-----1-403	5. 先进第二代通用型 IGBT(低饱和型)1-505

MG50J2YS45	1-507	MG8N6ES45	1-527
MG50J6ES45	1-509	MG15N6ES45	1-529
MG75J2YS45	1-511	MG25N6ES45	1-531
MG75J6ES45	1-513	6. LL-封装 IGBT	1-533
MG100J2YS45	1-515	MP6750	1-535
MG100J6ES45	1-517	MP6751	1-537
MG150J2YS45	1-519	MP6752	1-539
MG200J2YS45	1-521	MP6753	1-541
MG300J2YS45	1-523	封装形式	1-543
MG400J1US45/46	1-525		

第二章 功率模块

功率模块说明	2-3	MP4011	2-121
功率晶体管模块	2-23	MP4012	2-125
MP3001	2-25	MP4013	2-129
MP3002	2-29	MP4014	2-133
MP3003	2-33	MP4015	2-137
MP3004	2-37	MP4016	2-140
MP3005	2-41	MP4017	2-143
MP3006	2-45	MP4101	2-145
MP3007	2-49	MP4102	2-149
MP3008	2-53	MP4104	2-153
MP3009	2-57	MP4301	2-157
MP3010	2-61	MP4302	2-162
MP3011	2-65	MP4303	2-166
MP3102	2-69	MP4304	2-171
MP3103	2-73	MP4305	2-175
MP3107	2-77	MP4501	2-180
MP4001	2-81	MP4502	2-185
MP4002	2-85	MP4503	2-189
MP4003	2-89	MP4504	2-195
MP4004	2-93	MP4505	2-199
MP4005	2-97	MP4506	2-204
MP4006	2-103	MP4507	2-208
MP4008	2-109	MP4508	2-215
MP4009	2-113	MP4511	2-219
MP4010	2-117	MP4605	2-224

MP5001	-2-229	MP4205	-2-295
MP6001	-2-232	MP4401	-2-298
MP6002	-2-236	MP4402	-2-304
MP6003	-2-239	MP4403	-2-309
MP6004	-2-241	MP4404	-2-313
MP6005	-2-243	MP4405	-2-316
MP6301	-2-245	MP4406	-2-320
MP6302	-2-251	MP4701	-2-324
MP6901	-2-254	MP4702	-2-330
MP6902	-2-260	MP4703	-2-335
MOS FET 功率模块	-2-267	MP4704	-2-339
MP3201	-2-269	MP4705	-2-342
MP3202	-2-274	MP4706	-2-345
MP4201	-2-279	MP4707	-2-349
MP4202	-2-284	MP6101	-2-352
MP4203	-2-289	MP6401	-2-356
MP4204	-2-292	封装形式	-2-360

第一章 IGBT 模块

IGBT说明

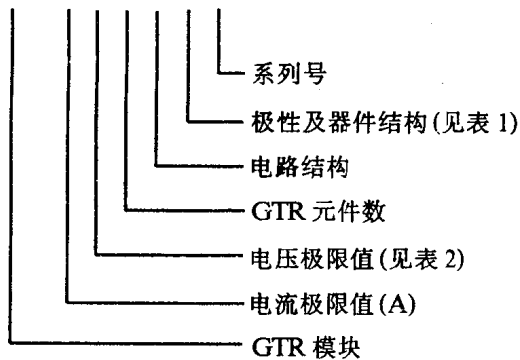
IGBT 说明

IGBT(绝缘栅双极型晶体管模块)

GTR(GIANT TRANSISTOR)模块适用于各种类型的电机控制及其它大功率开关应用, 扩展的 GTR 模块系列包括双极型达林顿晶体管模块、MOS-FET(MOS 场效应)模块、IGBT(IN-SULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR)模块和其它类型的模块。GTR 模块电压电流范围很宽, 电压高达 1400V, 电流达 400A。它们的特点是: 电极与散热片相隔离、电路多样化包括独立的、半桥、H 桥和三相电桥等、品种系列全、应用范围广。

GTR 模块型号的命名方法:

MG 50 J 2 Y S 1



GT 15 G 1 01 A

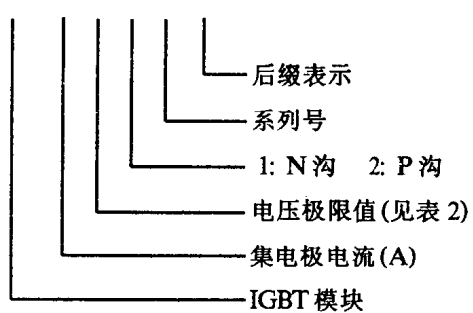


表 1

字符	结 构
K	双极型结构三端稳压源
L	双极型结构两端稳压源
M	MOS FET
S	IGBT

表 2

字符	最大电压值	字符	最大电压值
C	100 ~ 200	M	900 ~ 1000
D	200 ~ 300	N	1000 ~ 1100
G	400 ~ 500	Q	1200 ~ 1300
H	500 ~ 600	S	1400 ~ 1500
J	600 ~ 700	T	1500 ~ 1600

IGBT 说明

近年来, GTR 系列已广泛用于 UPS 电源、电梯电机控制、医疗设备及换流器等, 如图 1 所示。

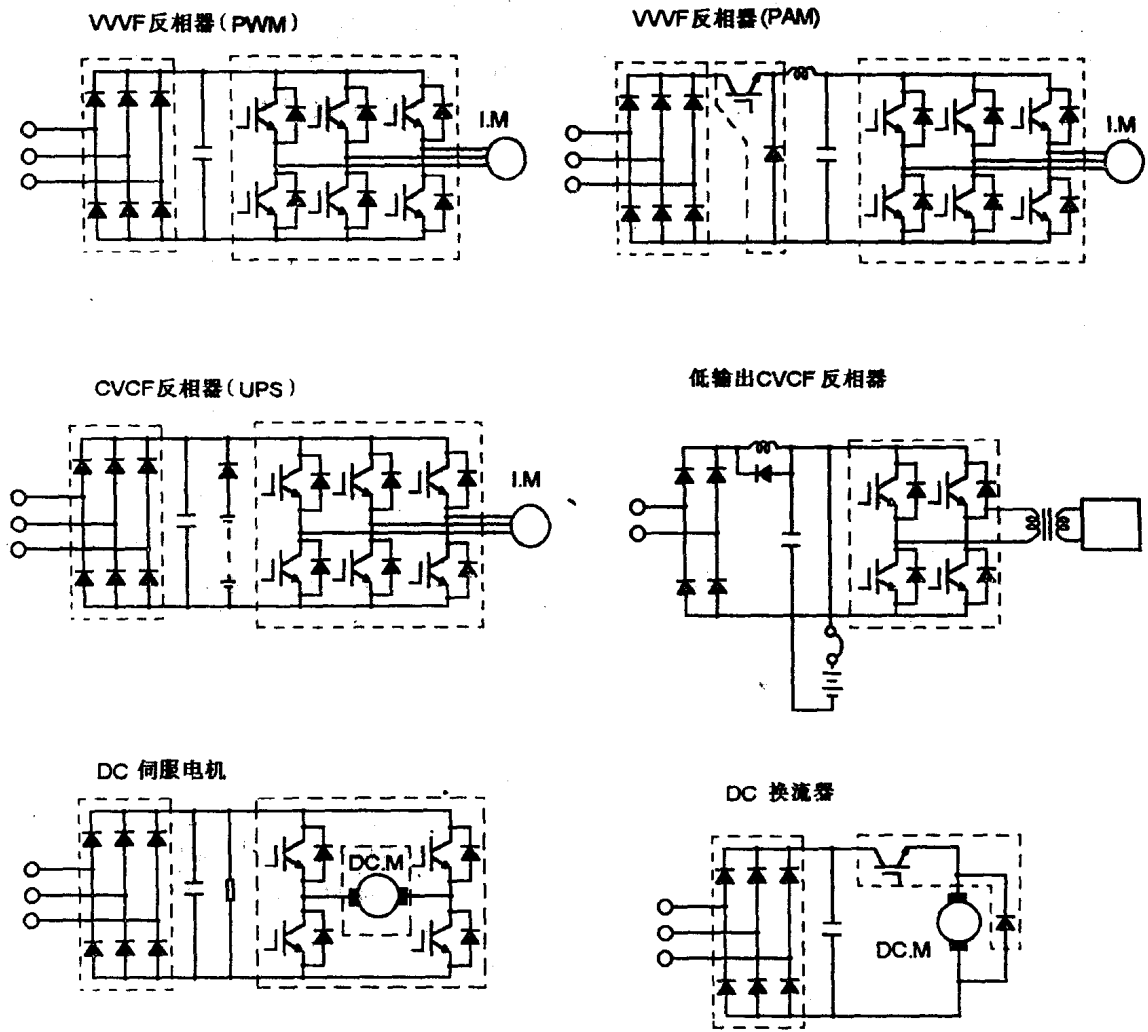


图 1 IGBT 典型应用

IGBT 绝缘栅双极型晶体管专门用于高频大功率开关电路, 具有高速易驱动的特点, MOS-FET 器件具有宽的稳定的工作范围和双极性器件的低饱和压降的特点, 这些器件具有短路特性。

栅
MOS FET

+

输出
双极型晶体管

= IGBT

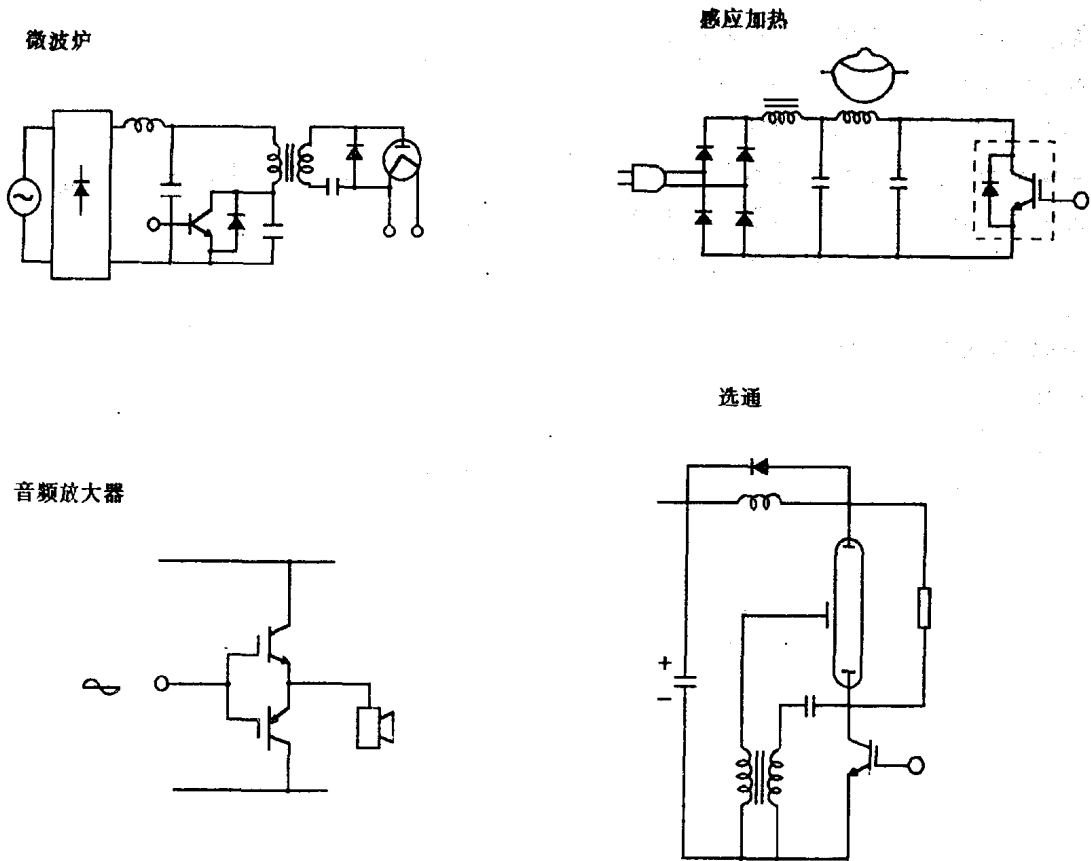


图 1 IGBT 典型应用 (续)

特点

- 高输入阻抗
- 高速工作衰减
- 大电流工作传导损耗少
- 新工艺制造
- AlN DBC 衬底
- 良好的图案形成技术
- 电子束辐射电极制造技术
- 非锁定技术

一、IGBT 绝缘栅双极型晶体管

1. IGBT 结构

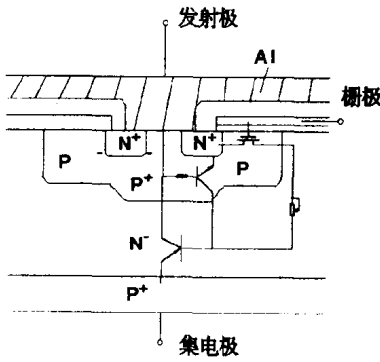


图 2 基本的 IGBT 结构

IGBT 说明

IGBT 绝缘栅双极型晶体管是由具有高输入阻抗和高速的 MOS-FET 和具有低饱和压降的双极型晶体管组成的，如图 2 所示。其基本结构与 MOS-FET 相同，不同点在于 MOS-FET 表面属于 N-N 类型，而 IGBT 表面属于 P-N 类型。因此，除衬底之外，其工艺过程基本上和 MOS-FET 相同，图 3 示出了这种结构的等效电路图和器件符号。

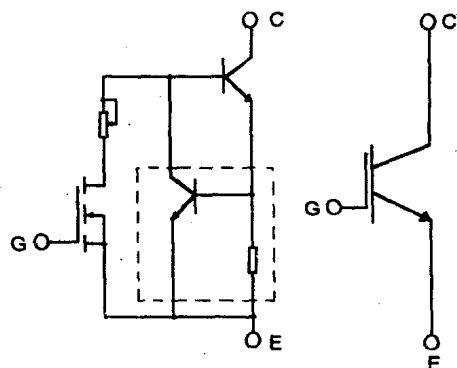


图 3 IGBT 等效电路与符号

由 PNP 晶体管和 NPN 晶体管耦合形成的等效于二极管的基极和发射极之间用一条铝线短路使其作用减到最小，可认为它的作用与 IGBT 的

基本工作无关，因此，IGBT 的等效电路以及基本工作结构原理是与 N 沟制作的 MOS-FET 输入级、PNP 晶体管为输出级的达林顿晶体管的反相 MOS 输入端相同的。

工作时，首先在施加栅极电压之后形成沟道，出现 PNP 晶体管基极电流，IGBT 导通；当其截止时沟道即消失，基极电流切断，因此，IGBT 的方法和驱动 MOS-FET 的方法基本相同，IGBT 具有高输入阻抗的特点。

然而，IGBT 的特点不仅如此，其另一个重要的特点就是导电率可调。采用图 2 的结构，MOS-FET 沟道形成之后从 P 衬底向 N 层注入空穴，在 N 层中引起导电率调整，这种结构使 IGBT 获得了大电流下低电压，在这一点 IGBT 是与 MOS-FET 不同的，因为 IGBT 具有很高的击穿电压(N 区电阻率很高)。

从等效电路可知 $V_{CE(sat)}$ 用下面的公式计算：

$$V_{CE(sat)} = V_{BE} + I_{MOS}(R_{N(MOD)} + R_{CH})$$

其中，

V_{BE} : PNP 晶体管基极 - 发射极电压

I_{MOS} : MOS-FET 漏电流

$R_{N(MOD)}$: 导电率调整层 N 层电阻

R_{CH} : MOS-FET 沟道电阻

如果 PNP 晶体管集电极电流是 $I_{C(PNP)}$ ，直流电流放大系数是 $h_{FE(PNP)}$ ，那末：

$$I_{MOS} = I_{C(PNP)} / h_{FE(PNP)}$$

总的 IGBT 电流 I_{IGBT} 为：

$$I_{IGBT} = I_{MOS} + I_{C(PNP)}$$

$h_{FE(PNP)}$ 对 IGBT 电压影响很大，通常 $h_{FE(PNP)}$ 和开关特性具有交叉使用的曲线，如果要获得高速和低饱和电压，在 IGBT 设计和制作时， $h_{FE(PNP)}$ 和载流子寿命控制是极其重要的。

下面是 IGBT 结构和工作机理的特点:

- (1) 高输入阻抗
- (2) 高速
- (3) 对大电流密度的导电率调节
- (4) 增强型
- (5) 宽的稳定工作区
- (6) 可并行连接

2. IGBT 设计特点

一个 1000V 50A IGBT 可做到在 $12\text{mm} \times 12\text{mm}$ 芯片上, 只有同样系数的双极型达林顿晶体管的芯片面积的 60% 或更少, 另一方面, 1000V IGBT 被优选, 其电流密度比一般的器件高 1.6 倍。其设计的特点如下:

1. 剥落源栅型
2. L_g 、 L_s 、 X_j 最佳设计
3. 中间栅控制极
4. 多发射极形式
5. 可采用大的芯片

采用剥落源栅型式对于广泛使用的方型结构设计是最佳的, 因为这种类型最有效地阻止了寄生晶体管的影响。 L_g 、 L_s 和 X_j 的最佳设计允许 IGBT 控制无锁定特性。在寄生晶体管的锁定情况下, 电流密度是 J_L , 而饱和区里流入单位面积的电流是 J_s , 为解决电流不相等 ($J_L < J_s$) 而引入无锁定状态, 将 J_s 和 J_L 做为设计参数, 并符合下列公式:

$$W \times S_g / (T \times l \times d) < AM \quad (AM \text{ 是常数})$$

其中,

W : 单位面积的沟道宽度

S_g : 有效元件每 1cm^2 内栅电极的面积

T : P 型基区扩散区的总周长

l : 沟道长度

d : 栅绝缘膜的厚度

AM 值是描述无锁定特性用的, 它是通过分析各种数据获得的, 例如: 栅电压为 15V 时无锁定条件由下式获得:

$$W \times S_g / (T \times l \times d) < 1.46 \times 10^8$$

中间栅控制极及多发射极结构允许大的 IGBT 芯片以平衡动态电流。

3. 封装结构和电路结构

IGBT 装配流水与 GTR 模块的装配流水相同, 模块芯片制做好后, 将其封装在图 15 所示的

IGBT 说明

封装外壳中，这种封装具有极好的可靠性。

作为 DBC (Direct Bond Copper) 的绝缘材料在 IGBT 模块中使用 AlN(氮化铝)陶瓷材料，这种材料具有良好的高热导性，产生卓越无比的好特性。图 4 示出了 AlN DBC 衬底的瞬态热阻和 GTR 模块中使用的 Al_2O_3 DBC 衬底的瞬态热阻曲线。

在常规的 GTR 模块里，封装外壳的一边都带有电绝缘的散热片 (2500V AC 1 分钟)，所有的电极都在另一边，为使 IGBT 能高速工作，其信号端独立于电源端，从而排除了内引线的感应作用，这种电路结构包含一个自由调整相位的二极管 (FWD)，产生一个完整的半桥结构使其适用于反相器。

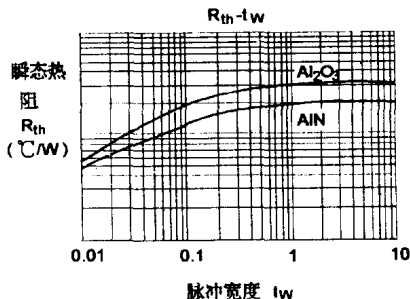


图 4 AlN 和 Al_2O_3 DBC 衬底的瞬态热阻

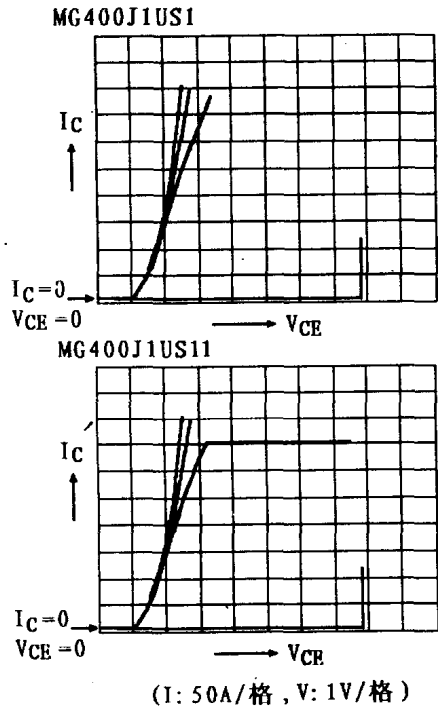


图 5 IGBT-MG400J1US1/11 的静态特性

4. 比较 IGBT、双极型和 MOS-FET

双极型达林顿管：双极型达林顿模块是电压和电流额定值范围最宽的系列。

功率 MOSFET：用于高速开关电路，电压和电流范围是 250V,8A 到 500V,50A。

IGBT：兼有 MOSFET 高速开关和双极型达林顿的高导电率的特点，用于低噪声反相器、高速反相器和不间断电源。

表 3 示出了各种类型的 IGBT 特性比较。

5. IGBT 和 BJT 比较

图 5 示出了 IGBT MG400 J1US1/11 的静态特性， $V_{GE} = 15V$ 时 400A 电流下电阻低于 8Ω ，在饱和压降和开关特性之间取折衷，典型的下降时间和饱和压降为 $0.15\mu s$ 和 3V，使其用于高速工作。IGBT 还具有简化驱动电路的特点，因为它具有 MOS 栅的高输入阻抗。图 6 示出了 IGBT 和 BJT 的开关特性，该图为示波器上显示的一个实际曲线，IGBT 的关断时间比 BJT 低一个数量级，MOS FET 允许器件在反相器应用中延迟时间被置于几个微秒。

图 7 示出了 IGBT-MG400 J1US1 的转移特性 ($I_C - V_{GE}$ 特性)。在大电流工作区，温度系数是负的，这一点在双极性晶体管中很少出现，IGBT 模块在电流上是有利的。

二、IGBT 模块的极限值