

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 5 月 7 日 (07.05.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/087928 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/26 (2014.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/090606
- (22) 国际申请日: 2019 年 6 月 11 日 (11.06.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811263247.7 2018年10月28日 (28.10.2018) CN
- (71) 申请人: 北京工业大学(**BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**) [CN/CN]; 中国北京市北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。
- (72) 发明人: 安彤 (**AN, Tong**); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 赵静毅 (**ZHAO, Jingyi**); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 秦飞 (**QIN, Fei**); 中国

北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 别晓锐 (**BIE, Xiaorui**); 中国北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。 袁雪泉 (**YUAN, Xuequan**); 中国北京市朝阳区平乐园100号, Beijing 100124 (CN)。

(74) 代理人: 北京思海天达知识产权代理有限公司(**BEIJING SIHAI TIANDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.**); 中国北京市北京市朝阳区平乐园 100 号北京工业大学旧图东配楼302室, Beijing 100124 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) **Title:** POWER CYCLE EXPERIMENT DEVICE FOR AUTOMOTIVE-GRADE IGBT MULTI-JUNCTION TEMPERATURE DIFFERENCE CONTROL

(54) 发明名称: 一种汽车级IGBT多结温差控制的功率循环实验装置

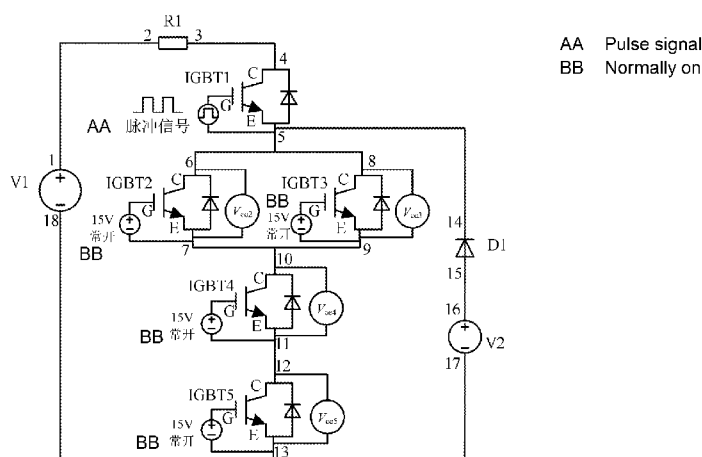


图 1

(57) **Abstract:** A power cycle experiment device for automotive-grade IGBT multi-junction temperature difference control, comprising multiple IGBT module units as control modules and modules to be tested, a main circuit system for constituting a test loop, a small-current test system for junction temperature calculation, a water cooling system comprising multiple independent working positions, a control system for configuring IGBT drive and on/off of the water cooling system, and a data acquisition system for monitoring electrical and thermal parameters. The main circuit system adopts a specific series-parallel circuit to connect IGBT modules to be tested. Load currents of multiple IGBT modules to be tested in the same main circuit are made different. The data acquisition system automatically acquires the collector-emitter voltage V_{ce} of the IGBT module to be tested at a small current, and substitutes same into a junction temperature calculation formula to calculate the junction temperature

MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

T_j in real time. The experiment device simultaneously performs power cycle experiments with different junction temperature differences on multiple IGBT modules in one power cycle experiment, thereby meeting the diversity of experiments and improving the work efficiency.

(57) 摘要: 一种汽车级IGBT多结温差控制的功率循环实验装置, 包括作为控制和待测模块的多个IGBT模块单元、用于组成测试回路的主电路系统、用于结温计算的小电流测试系统、包含多个独立工位的水冷散热系统、用于设置IGBT驱动及水冷散热系统通断的控制系统、用于监测电参数和热参数的数据采集系统。主电路系统采用特定的串并联电路, 将待测IGBT模块进行连接。使同一主电路中多个待测IGBT模块的负载电流不同。数据采集系统自动采集小电流下待测IGBT模块的集电极电压 V_{ce} , 并将其带入结温计算公式实时计算结温 T_j 。此实验装置在一次功率循环实验中同时对多个IGBT模块进行不同结温差的功率循环实验, 满足了实验的多样性, 提高了工作效率。

一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置

技术领域

本发明涉及一种功率循环实验装置，属于实验装置领域，特别涉及一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置。

背景技术

绝缘栅双极型晶体管（IGBT）是能源转换与传输的核心器件，广泛应用于航空航天、风力发电、轨道交通、电动汽车等领域。在实际应用中，IGBT 模块功率变化，引发功率损耗实时变化，致使模块的结温持续大范围波动。随着输出功率进一步提升，IGBT 模块会出现严重的过热问题，IGBT 模块可靠性降低，发生老化失效，最终导致整个功率转换系统的失效。因此，IGBT 模块的可靠性分析对于大功率变流装置的可靠运行至关重要。

分析 IGBT 模块的可靠性，需要对 IGBT 模块进行加速老化实验，以便在较短的时间内获得较多的样本数据。功率循环实验是目前常采用的加速老化实验。进行功率循环实验时，现有的实验方法一次只能对 IGBT 模块进行一种实验条件的功率循环实验。如需进行多种不同条件的功率循环实验，则需要依据实验条件，进行多次实验，实验效率较低。

因此，需要提出一种新的功率循环实验装置，能够同时对多个 IGBT 模块进行功率循环实验。并且多个模块的电流，结温等实验条件不同，便于多个模块进行组间对比，此方法大大缩减了实验时间，提高了实验效率。

发明内容

鉴于此，本发明提供一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，能够同时对多个 IGBT 模块进行不同结温差的功率循环实验，不仅提高了工作效率，而且实验条件更加多样化。

本发明提供一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，该装置包括：IGBT 模块、主电路系统、小电流测试系统、水冷散热系统、控制系统、数据采集系统。IGBT 模块置于水冷散热系统上，分别将主电路系统和小电流测试系统与 IGBT 模块进行连接。控制系统对 IGBT1 模块的栅极，以及水冷散热系统的电磁阀进行控制。数据采集系统实时的监测主电路的电流 I_c 、待测 IGBT 模块集射极电压 V_{ce} 、待测 IGBT 模块壳温 T_c 数据。并且将测试电流下的 V_{ce} 数据，自动带入 K 曲线，实时计算 IGBT 模块的结温 T_j 。

所述的 IGBT 模块，如图 1 所示，包括五个不同型号的 IGBT 模块，分别为 IGBT1、IGBT2、IGBT3、IGBT4 和 IGBT5。大额定功率的 IGBT1 模块作为主电路的开关，选取大额定功率是为了保证开关的可靠性。相同型号小额定功率的 IGBT2、IGBT3、IGBT4、IGBT5 作为待测器件，保证实验的可对比性。

所述的主电路系统主要由由电源 V1, 电阻 R1, IGBT1, IGBT2, IGBT3, IGBT4, IGBT5 组成, 如图 1 所示。电源 V1 的端 1 连接电阻 R1 的 2 端, 电阻 R1 的 3 端连接 IGBT1 的 4 端。IGBT2 和 IGBT3 并联后的两个输出端, 一端与 IGBT1 的 5 端连接, 另一端与 IGBT4 的 10 端连接, IGBT4 的 11 端与 IGBT5 的 12 端连接, IGBT5 的 13 端与电源 V1 的 18 端连接。此电路连接方法中多个待测 IGBT 模块采用不同的串并联连接电路, 实现同一主电路中多个 IGBT 模块具有不同的负载电流。流经 IGBT2 和 IGBT3 的电流为主电路电流的一半, 流经 IGBT4 和 IGBT5 的电流等于主电路中的电流。

IGBT 模块的导通功耗计算公式为

$$\begin{aligned} P_{\text{cond}} &= D \cdot I_c \cdot V_{\text{ce}}(I_c) \\ &= D \cdot I_c \cdot \left\{ \left[V_{\text{ce}_{25^\circ\text{C}}} + K_V(T_j - 25^\circ\text{C}) \right] + I_c \cdot \left[r_{\text{ce}_{25^\circ\text{C}}} + K_r(T_j - 25^\circ\text{C}) \right] \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, D 为开关时间的占空比, I_c 为 IGBT 模块的负载电流, $V_{\text{ce}}(I_c)$ 为 IGBT 模块的集射极电压, $V_{\text{ce}_{25^\circ\text{C}}}$ 为 IGBT 模块在 25°C 时的集射极电压, $r_{\text{ce}_{25^\circ\text{C}}}$ 为 IGBT 模块在 25°C 时的导通电阻, K_V 为电压温度系数, K_r 为电阻温度系数。

IGBT 模块的结温 T_j 计算公式为

$$\begin{aligned} T_j &= R_{\text{th}} \cdot V_{\text{ce}}(I_c) \cdot I_c + T_c \\ &= R_{\text{th}} \cdot \left\{ \left[V_{\text{ce}_{25^\circ\text{C}}} + K_V(T_j - 25^\circ\text{C}) \right] + I_c \cdot \left[r_{\text{ce}_{25^\circ\text{C}}} + K_r(T_j - 25^\circ\text{C}) \right] \right\} \cdot I_c + T_c \end{aligned} \quad (2)$$

其中, R_{th} 为 IGBT 的热阻, 依据 IGBT 的数据手册获得不同实验条件模块的热阻, T_c 为 IGBT 的壳温。

由公式 (2) 可知, IGBT 的结温与 IGBT 的功耗以及水冷散热系统中水冷板的壳温 T_c 有关。

所述的小电流测试系统主要由电源 V2, 二极管 D1 组成, 如图 1 所示。电源 V2 的正极输出端 16 与二极管 D1 的 15 端连接, 二极管 D1 的 14 与 IGBT1 的 5 连接。电源的另一个输出端 17 与 IGBT5 的 13 端连接。

小电流测试系统同时为四个待测 IGBT 模块提供测试电流。其中, 流入 IGBT2 和 IGBT3 的测试电流是 IGBT4 和 IGBT5 测试电流的一半。

进一步, 所述的小电流测试系统, 根据温箱实验中不同小电流下 T_j 与 V_{ce} 的函数关系曲线, 如图 2 所示。得到 50mA 小电流下 IGBT 的 T_j 的表达式

$$T_j = \frac{0.53889 - V_{\text{ce}}}{0.00233} \quad (3)$$

100 mA 小电流下 IGBT 的 T_j 的表达式

$$T_j = \frac{0.5001 - V_{\text{ce}}}{0.00233} \quad (4)$$

其中, IGBT2 和 IGBT3 的 T_j 采用 50mA 测试电流下的 T_j 表达式计算。IGBT4 和 IGBT5 的 T_j 采用 100mA 测试电流下 T_j 表达式计算。

所述的水冷散热系统，如图 3 所示。能够为多个 IGBT 模块提供冷却液进行散热。冷却液（流体）在圆形管道内进行强制对流传热，其对流传热系数 α 为

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} \left(\frac{du\rho}{\mu} \right)^{0.8} \left(\frac{c_p \mu}{\lambda} \right)^n \quad (5)$$

其中， λ 为导热率， d 为管道直径， u 为液体流速， ρ 为液体密度， μ 为液体粘度， c_p 为比热容， n 在流体被加热时为 0.4，冷却为 0.3。

依据对流传热系数公式可以判定，当其他参数一定时， α 与 u 的 0.8 次方成正比，说明增大流速 u 有利于提高 α 。

当其它参数一定时， α 与 d 的 0.2 次方成反比，说明减小管道直径 d 有利于提高 α 。

水冷散热系统的散热量 Q 公式为

$$Q = a \cdot A \cdot (T_c - T_w) \quad (6)$$

其中， Q 为水冷板的散热量，单位 W； a 为对流传热系数，单位 W / (m²·℃)； A 为导热面积，单位 m²； T_c 为水冷板温度(IGBT 的壳温)，即 IGBT 的壳温，单位℃； T_w 为冷却液温度，单位℃。

由水冷散热系统的散热量公式可得，当其他参数一定时， Q 与 a 成正比。因此，通过改变水冷散热系统中水冷板的管道直径 d 、液体流速 u ，来调节对流传热系数 a ，进而控制水冷散热系统的散热量，从而控制 IGBT 的壳温 T_c 。

进一步，所述的水冷散热系统，包含五个水冷工位。每个工位配备有独立的电磁阀，可以依据 IGBT 模块的散热需求，独立控制每个水冷工位电磁阀的通断，进而控制冷却液的通断时间。

所述的控制系统，采用单片机进行控制，能够分别控制开关模块 IGBT1 和水冷散热系统电磁阀的通断。

所述的数据采集系统，能够同时监测主电路的电流 I_c 、待测 IGBT 模块集射极电压 V_{ce} 、待测 IGBT 模块壳温 T_c 等数据，并且将采集的数据实时存储于电脑。

进一步，所述的数据采集系统，可以自动提取小电流下待测 IGBT 模块集射极电压 V_{ce} 数据，并且依据 IGBT 模块的 K 曲线，计算 IGBT 模块的 T_j 变化。

附图说明

图 1 是本发明提供的功率循环实验装置电路图；

图 2 是本发明提供的 IGBT 集射极电压 V_{ce} 和结温 T_j 对应曲线图；

图 3 是本发明提供的水冷散热工位图；

图 4 是本发明提供的功率循环实验流程图；

图 5 是本发明提供的功率循环实验参数确定图；

图 6 是本发明提供的功率循环实验时序图；

具体实施方式

下面结合说明书附图对本发明的具体实施步骤做详细的说明。

本发明提供一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置。其特征在于，包括作为控制和待测器件的多个 IGBT 模块单元、用于组成测试回路的主电路系统、用于结温计算的小电流测试系统、包含多个独立工位的水冷散热系统、用于控制 IGBT 栅极驱动及水冷散热通断的控制系统、用于监测电参数和热参数的数据采集系统。

图 4 为依据本发明提供的功率循环实验方法进行功率循环实验的流程图，实施步骤分为：首先，设定主电路电流 I_c ，得到设定电流条件下 IGBT 的集射极电压 V_{ce} ，计算得到 IGBT 的导通功耗。接着，设定对流换热系数，电磁阀的开关时间，计算水冷散热系统的散热量。然后，对 IGBT 的导通功耗和水冷散热系统的散热量进行计算得到 IGBT 的总功耗。再依据理论结温计算公式得到 IGBT 的理论 T_j 。若满足所制定的实验要求，则采用此实验条件进行功率循环实验调试。之后，采用小电流测试系统，实时采集四个待测 IGBT 模块的饱和压降 V_{ce} ，并带入各自 K 曲线计算公式，计算各个待测 IGBT 模块的 T_j 。对比实验计算结温与理论计算结温的差别。若符合偏差范围，则开始正式进行功率循环实验。若不满足偏差要求，则停止实验，继续进行调整实验中的参数，直至实验计算的结温与理论计算结温满足偏差要求，可以进行功率循环实验。

具体实施步骤如下：首先，将五个模块固定于五个散热工位，如图 3 所示。依据电路图 1 将电源 V1 的正极与电阻 R1 的一个端子相连，将电阻的另一端子连接于 IGBT1 的集电极 C，将 IGBT2 和 IGBT3 的集电极 C 并联连接于 IGBT1 的发射极 E，接着将 IGBT2 和 IGBT3 的发射极 E 并联连接于 IGBT4 的集电极，将 IGBT4 的发射极 E 连接于 IGBT5 的集电极，将 IGBT5 的发射极 E 连接于电源 V1 的负极。

小电流测试系统中电源 V2 的正极与二极管 D1 的正极相连，将二极管 D1 的负极与 IGBT1 的发射极 E 相连。将电源 V2 的负极与电源 V1 的负极相连。

之后，按照图 5 中的顺序进行各参数的计算。设定的电流 I_c ，开关时间占空比 D ，依据公式 (1) 计算导通功耗 P_{cond} 。将水冷散热系统的散热管道直径 d ，冷却液流速 u ，带入公式 (5) 计算对流换热系数 α 。然后设定水冷板的散热量 Q 、冷却液温度 T_w 、对流换热系数 α 带入公式 (6) 计算水冷板的壳温 T_c 。之后根据导通功耗 P_{cond} 和水冷板的壳温 T_c 带入公式 (2) 计算 IGBT 的结温 T_j 。

按照所设定的开关时间、电流等参数进行功率循环实验。各开关的时序图如图 6 所示。在一个功率循环周期内，当 IGBT1 导通时，IGBT2 和 IGBT3 的电流

为 $0.5I_c$, IGBT4 和 IGBT5 的电流为 I_c 。IGBT2 和 IGBT5 的水冷控制电磁阀导通, 带走 IGBT 功耗产生的一部分热量。IGBT3 和 IGBT4 的水冷控制电磁阀关断。当 IGBT1 关断时, IGBT2、IGBT3、IGBT4、IGBT5 未通入电流。IGBT2、IGBT3, IGBT4、IGBT5 的水冷控制电磁阀都导通, 迅速给四个模块降温。

所述的小电流测试系统测试 IGBT1 关断期间四个待测 IGBT 模块的集射极电压 V_{ce} 。依据模块的集射极电压 V_{ce} 与 T_j 的关系, 分别将 IGBT2 和 IGBT3 的 V_{ce} 带入公式 (2), 将 IGBT4 和 IGBT5 的 V_{ce} 带入公式 (3)。计算得到一个周期内 IGBT2 的结温差为 ΔT_{j2} , IGBT3 的结温差为 ΔT_{j3} , IGBT4 的结温差为 ΔT_{j4} , IGBT5 的结温差为 ΔT_{j5} 。将实验计算 T_j 与理论计算 T_j 进行比较, 若两者的差值较大, 不在允许的偏差范围内, 则根据图 4 的实验流程, 重新设定实验条件进行实验。直至实验计算 T_j 与理论计算 T_j 满足实验要求, 之后开始进行功率循环实验。

权利要求书

1、一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，其特征在于：该装置包括：IGBT 模块、主电路系统、小电流测试系统、水冷散热系统、控制系统、数据采集系统；IGBT 模块置于水冷散热系统上，分别将主电路系统和小电流测试系统与 IGBT 模块进行连接；控制系统对 IGBT1 模块的栅极，以及水冷散热系统的电磁阀进行控制；数据采集系统实时的监测主电路的电流 I_c 、待测 IGBT 模块集射极电压 V_{ce} 、待测 IGBT 模块壳温 T_c 数据；并且将测试电流下的 V_{ce} 数据，自动带入 K 曲线，实时计算 IGBT 模块的结温 T_j 。

2、根据权利要求 1 所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，其特征在于：所述的 IGBT 模块，包括五个不同型号的 IGBT 模块，分别为 IGBT1、IGBT2、IGBT3、IGBT4 和 IGBT5；大额定功率的 IGBT1 模块作为主电路的开关，选取大额定功率是为了保证开关的可靠性；相同型号小额定功率的 IGBT2、IGBT3、IGBT4、IGBT5 作为待测器件，保证实验的可对比性。

3、根据权利要求 1 所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，其特征在于：所述的主电路系统由电源 V1，电阻 R1，IGBT1，IGBT2，IGBT3，IGBT4，IGBT5 组成；电源 V1 的端 1 连接电阻 R1 的 2 端，电阻 R1 的 3 端连接 IGBT1 的 4 端；IGBT2 和 IGBT3 并联后的两个输出端，一端与 IGBT1 的 5 端连接，另一端与 IGBT4 的 10 端连接，IGBT4 的 11 端与 IGBT5 的 12 端连接，IGBT5 的 13 端与电源 V1 的 18 端连接；此电路连接方法中多个待测 IGBT 模块采用不同的串并联连接电路，实现同一主电路中多个 IGBT 模块具有不同的负载电流；流经 IGBT2 和 IGBT3 的电流为主电路电流的一半，流经 IGBT4 和 IGBT5 的电流等于主电路中的电流；

IGBT 模块的导通功耗计算公式为

$$\begin{aligned} P_{\text{cond}} &= D \cdot I_c \cdot V_{ce}(I_c) \\ &= D \cdot I_c \cdot \left\{ \left[V_{ce_25^\circ\text{C}} + K_V(T_j - 25^\circ\text{C}) \right] + I_c \cdot \left[r_{ce_25^\circ\text{C}} + K_r(T_j - 25^\circ\text{C}) \right] \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

其中， D 为开关时间的占空比， I_c 为 IGBT 模块的负载电流， $V_{ce}(I_c)$ 为 IGBT 模块的集射极电压， $V_{ce_25^\circ\text{C}}$ 为 IGBT 模块在 25°C 时的集射极电压， $r_{ce_25^\circ\text{C}}$ 为 IGBT 模块在 25°C 时的导通电阻， K_V 为电压温度系数， K_r 为电阻温度系数；

IGBT 模块的结温 T_j 计算公式为

$$\begin{aligned} T_j &= R_{th} \cdot V_{ce}(I_c) \cdot I_c + T_c \\ &= R_{th} \cdot \left\{ \left[V_{ce_25^\circ\text{C}} + K_V(T_j - 25^\circ\text{C}) \right] + I_c \cdot \left[r_{ce_25^\circ\text{C}} + K_r(T_j - 25^\circ\text{C}) \right] \right\} \cdot I_c + T_c \end{aligned} \quad (2)$$

其中， R_{th} 为 IGBT 的热阻，依据 IGBT 的数据手册获得不同实验条件模块的热阻， T_c 为 IGBT 的壳温；

由公式 (2) 可知，IGBT 的结温与 IGBT 的功耗以及水冷散热系统中水冷板的壳温 T_c 有关。

4、根据权利要求1所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，其特征在于：所述的小电流测试系统主要由电源 V2，二极管 D1 组成；电源 V2 的正极输出端 16 与二极管 D1 的 15 端连接，二极管 D1 的 14 与 IGBT1 的 5 连接；电源的另一个输出端 17 与 IGBT5 的 13 端连接。

5、根据权利要求1所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，其特征在于：小电流测试系统同时为四个待测 IGBT 模块提供测试电流；其中，流入 IGBT2 和 IGBT3 的测试电流是 IGBT4 和 IGBT5 测试电流的一半。

6、根据权利要求1所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，其特征在于：所述的小电流测试系统，根据温箱实验中不同小电流下 T_j 与 V_{ce} 的函数关系曲线；得到 50mA 小电流下 IGBT 的 T_j 的表达式

$$T_j = \frac{0.53889 - V_{ce}}{0.00233} \quad (3)$$

100 mA 小电流下 IGBT 的 T_j 的表达式

$$T_j = \frac{0.5001 - V_{ce}}{0.00233} \quad (4)$$

其中，IGBT2 和 IGBT3 的 T_j 采用 50mA 测试电流下的 T_j 表达式计算；IGBT4 和 IGBT5 的 T_j 采用 100mA 测试电流下 T_j 表达式计算。

7、根据权利要求1所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置，其特征在于：所述的水冷散热系统；能够为多个 IGBT 模块提供冷却液进行散热；冷却液在圆形管道内进行强制对流传热，其对流传热系数 α 为

$$\alpha = 0.023 \frac{\lambda}{d} \left(\frac{du\rho}{\mu} \right)^{0.8} \left(\frac{c_p \mu}{\lambda} \right)^n \quad (5)$$

其中， λ 为导热率， d 为管道直径， u 为液体流速， ρ 为液体密度， μ 为液体粘度， c_p 为比热容， n 在流体被加热时为 0.4，冷却为 0.3；

依据对流传热系数公式判定，当其他参数一定时， α 与 u 的 0.8 次方成正比，说明增大流速 u 有利于提高 α ；

当其它参数一定时， α 与 d 的 0.2 次方成反比，说明减小管道直径 d 有利于提高 α ；

水冷散热系统的散热量 Q 公式为

$$Q = \alpha \cdot A \cdot (T_c - T_w) \quad (6)$$

其中， Q 为水冷板的散热量，单位 W； α 为对流传热系数，单位 $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$ ； A 为导热面积，单位 m^2 ； T_c 为水冷板温度即 IGBT 的壳温，单位 $^\circ C$ ； T_w 为冷却液温度，单位 $^\circ C$ ；

由水冷散热系统的散热量公式可得，当其他参数一定时， Q 与 α 成正比；因

此,通过改变水冷散热系统中水冷板的管道直径 d 、液体流速 u ,来调节对流传热系数 α ,进而控制水冷散热系统的散热量,从而控制 IGBT 的壳温 T_c 。

8、根据权利要求 1 所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置,其特征在于:所述的水冷散热系统,包含五个水冷工位;每个工位配备有独立的电磁阀,依据 IGBT 模块的散热需求,独立控制每个水冷工位电磁阀的通断,进而控制冷却液的通断时间。

9、根据权利要求 1 所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置,其特征在于:所述的控制系统,采用单片机进行控制,能够分别控制开关模块 IGBT1 和水冷散热系统电磁阀的通断。

10、根据权利要求 1 所述的一种汽车级 IGBT 多结温差控制的功率循环实验装置,其特征在于:所述的数据采集系统,能够同时监测主电路的电流 I_c 、待测 IGBT 模块集射极电压 V_{ce} 、待测 IGBT 模块壳温 T_c 等数据,并且将采集的数据实时存储于电脑;

所述的数据采集系统,自动提取小电流下待测 IGBT 模块集射极电压 V_{ce} 数据,并且依据 IGBT 模块的 K 曲线,计算 IGBT 模块的 T_j 变化。

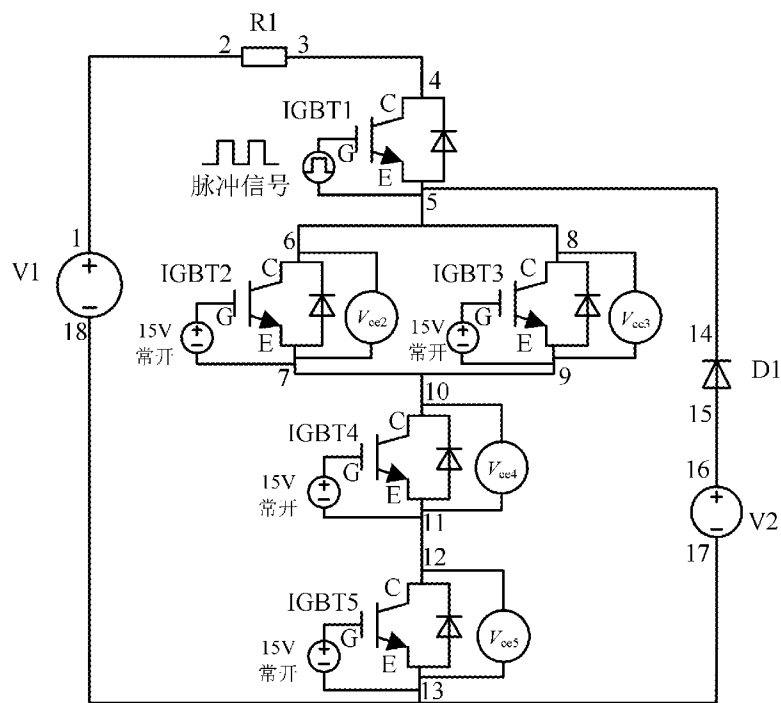


图 1

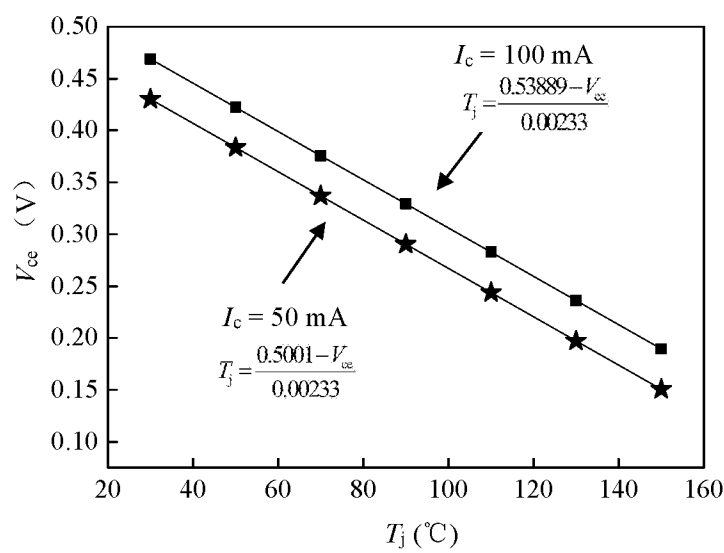


图 2

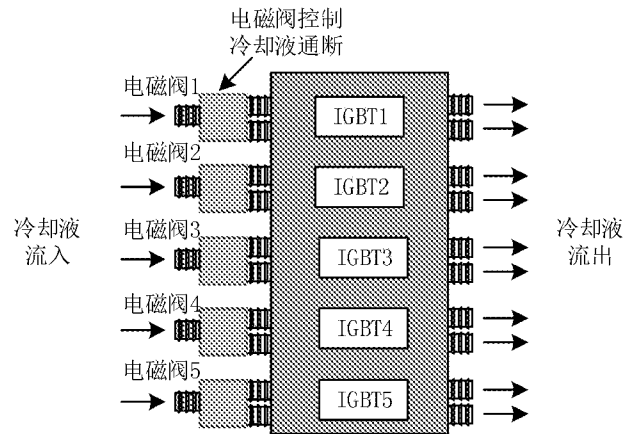


图 3

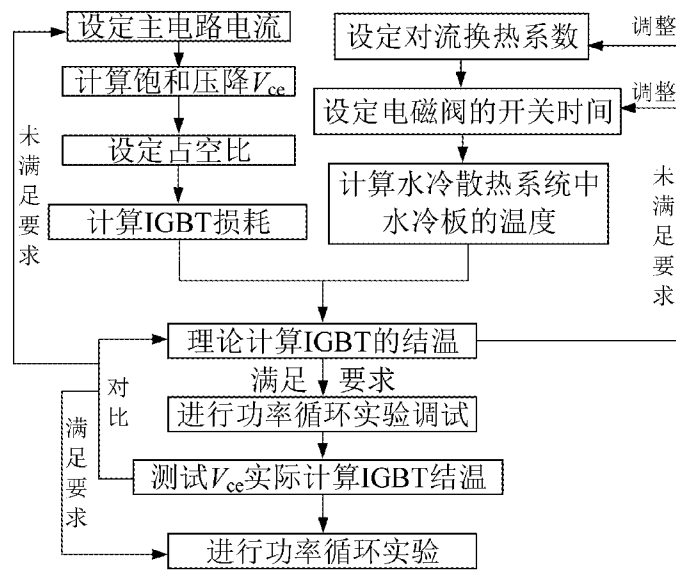


图 4

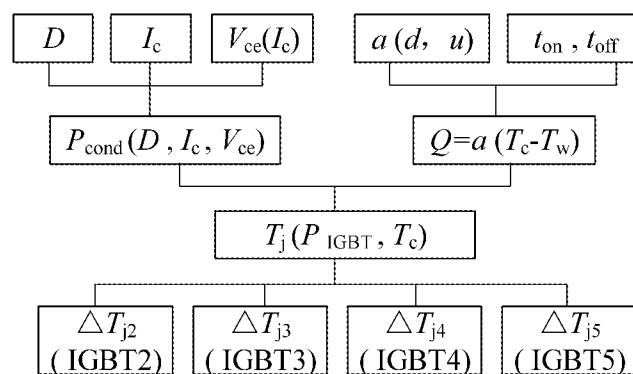


图 5

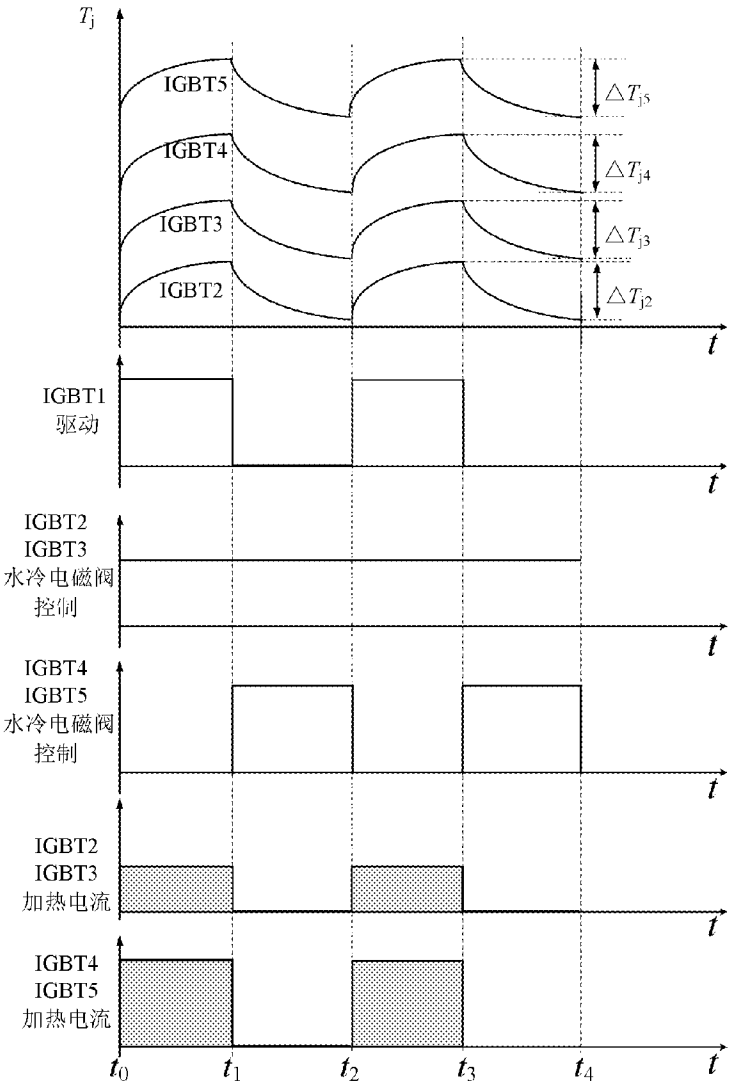


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/090606

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/26(2014.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R31, H03K17

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN: 绝缘栅双极型晶体管, 半导体, 功率, 循环, 结温, 测试, 水冷, 散热, 控制, 采集, 监测, IGBT, insulator gate bipolar transistor, semiconductor, power, cycle, junction, temperature, test, water ,cool, radiator, control, measure, collect, monitor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109444705 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 08 March 2019 (2019-03-08) claims 1-10	1-10
X	CN 108646163 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY) 12 October 2018 (2018-10-12) description, paragraphs 0049-0106, and figures 1-9	1, 2, 4, 5, 7-10
Y	CN 108646163 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY) 12 October 2018 (2018-10-12) description, paragraphs 0049-0106, and figures 1-9	3, 6
Y	秦星 (QIN, Xing). ""风电变流器IGBT模块结温计算及功率循环能力评估"" ("Calculation of Junction Temperature and Assessment of Power Cycling Capabilities of IGBT Modules for Wind Power Converter") 中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑 (Science-Engineering (B), China Master's Theses Full-Text Database), 15 January 2015 (2015-01-15), ISSN: 1674-0246, page 16	3



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 September 2019

Date of mailing of the international search report

18 September 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/090606

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	刘洪纪 (LIU, Hongji). "“IGBT快速功率循环老化试验装置的研究和设计” ("Research and Design of the Fast Power Cycling Aging Test Bench for IGBT Modules")" 中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑 (Science-Engineering (B), China Master's Theses Full-Text Database), 15 June 2016 (2016-06-15), ISSN: 1674-0246, pages 22-23	6
A	CN 108226733 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 29 June 2018 (2018-06-29) entire document	1-10
A	CN 106443400 A (HEBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 22 February 2017 (2017-02-22) entire document	1-10
A	CN 105811944 A (CHONGQING UNIVERSITY) 27 July 2016 (2016-07-27) entire document	1-10
A	CN 108152697 A (JIANGSU CAS-IGBT TECHNOLOGY CO., LTD.) 12 June 2018 (2018-06-12) entire document	1-10
A	KR 20150003019 A (SAMSUNG ELECTRO MECH) 08 January 2015 (2015-01-08) entire document	1-10
A	US 2004051545 A1 (TILTON, C.L. ET AL.) 18 March 2004 (2004-03-18) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/090606

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109444705	A	08 March 2019	None			
CN	108646163	A	12 October 2018	None			
CN	108226733	A	29 June 2018	None			
CN	106443400	A	22 February 2017	CN	106443400	B	11 June 2019
CN	105811944	A	27 July 2016	CN	105811944	B	15 February 2019
CN	108152697	A	12 June 2018	None			
KR	20150003019	A	08 January 2015	None			
US	2004051545	A1	18 March 2004	US	7506519	B1	24 March 2009
				US	6889509	B1	10 May 2005
				US	6857283	B2	22 February 2005
				US	7490478	B1	17 February 2009
				US	7401471	B1	22 July 2008
				US	7032403	B1	25 April 2006
				US	7013662	B1	21 March 2006
				US	7021067	B1	04 April 2006

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/090606

A. 主题的分类

G01R 31/26(2014.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01R31, H03K17

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS, CNTXT, CNKI, VEN: 绝缘栅双极型晶体管, 半导体, 功率, 循环, 结温, 测试, 水冷, 散热, 控制, 采集, 监测, IGBT, insulator gate bipolar transistor, semiconductor, power, cycle, junction, temperature, test, water, cool, radiator, control, measure, collect, monitor

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 109444705 A (北京工业大学) 2019年 3月 8日 (2019 - 03 - 08) 权利要求1-10	1-10
X	CN 108646163 A (华北电力大学) 2018年 10月 12日 (2018 - 10 - 12) 说明书第0049-0106段以及图1-9	1, 2, 4, 5, 7-10
Y	CN 108646163 A (华北电力大学) 2018年 10月 12日 (2018 - 10 - 12) 说明书第0049-0106段以及图1-9	3, 6
Y	秦星. " "风电变流器IGBT模块结温计算及功率循环能力评估" " 《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》, 2015年 1月 15日 (2015 - 01 - 15), ISSN: 1674-0246, 第16页	3
Y	刘洪纪. " "IGBT快速功率循环老化试验装置的研究和设计" " 《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技II辑》, 2016年 6月 15日 (2016 - 06 - 15), ISSN: 1674-0246, 第22-23页	6

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 9月 10日

国际检索报告邮寄日期

2019年 9月 18日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

何晓兰

传真号 (86-10)62019451

电话号码 86-(010)-62085135

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 108226733 A (全球能源互联网研究院有限公司) 2018年 6月 29日 (2018 - 06 - 29) 全文	1—10
A	CN 106443400 A (河北工业大学) 2017年 2月 22日 (2017 - 02 - 22) 全文	1—10
A	CN 105811944 A (重庆大学) 2016年 7月 27日 (2016 - 07 - 27) 全文	1—10
A	CN 108152697 A (江苏中科君芯科技有限公司) 2018年 6月 12日 (2018 - 06 - 12) 全文	1—10
A	KR 20150003019 A (SAMSUNG ELECTRO MECH) 2015年 1月 8日 (2015 - 01 - 08) 全文	1—10
A	US 2004051545 A1 (TILTON CHARLES L等) 2004年 3月 18日 (2004 - 03 - 18) 全文	1—10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/090606

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	109444705	A	2019年 3月 8日	无			
CN	108646163	A	2018年 10月 12日	无			
CN	108226733	A	2018年 6月 29日	无			
CN	106443400	A	2017年 2月 22日	CN	106443400	B	2019年 6月 11日
CN	105811944	A	2016年 7月 27日	CN	105811944	B	2019年 2月 15日
CN	108152697	A	2018年 6月 12日	无			
KR	20150003019	A	2015年 1月 8日	无			
US	2004051545	A1	2004年 3月 18日	US	7506519	B1	2009年 3月 24日
				US	6889509	B1	2005年 5月 10日
				US	6857283	B2	2005年 2月 22日
				US	7490478	B1	2009年 2月 17日
				US	7401471	B1	2008年 7月 22日
				US	7032403	B1	2006年 4月 25日
				US	7013662	B1	2006年 3月 21日
				US	7021067	B1	2006年 4月 4日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)