



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118523641 A

(43) 申请公布日 2024. 08. 20

(21) 申请号 202311375851.X

(22) 申请日 2023.10.20

(30) 优先权数据

2022-172001 2022.10.27 JP

(71) 申请人 三菱电机株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 筱原亮

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

专利代理师 胡秋瑾 宋俊寅

(51) Int. Cl.

H02M 7/48 (2007.01)

H05K 7/20 (2006.01)

H02P 27/08 (2006.01)

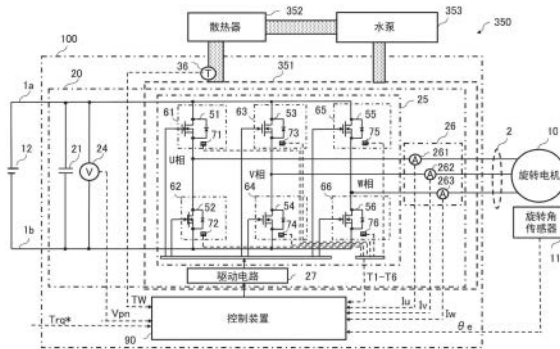
权利要求书2页 说明书21页 附图23页

(54) 发明名称

功率转换装置

(57) 摘要

本发明的目的在于提供高效的功率转换装置,能更恰当地防止半导体开关元件的过热,并且抑制过度限制功率转换装置的输出的情况。功率转换装置包括:开关元件,其使电流通电、切断;元件温度检测器,其检测开关元件的温度;冷却器,其冷却开关元件;冷却介质状态检测器,其检测通过冷却器的冷却介质的状态;以及控制装置,其控制开关元件来进行功率转换,并且进行开关元件的过热防止控制,其中,控制装置基于冷却介质状态检测器检测出的冷却介质的状态来决定用于判定是否需要过热防止控制的温度阈值,在元件温度检测器检测出的温度比温度阈值要高的情况下限制开关元件的动作来进行过热防止控制。



1. 一种功率转换装置,包括:  
开关元件,该开关元件使电流通电、切断;  
元件温度检测器,该元件温度检测器检测所述开关元件的温度;  
冷却器,该冷却器对所述开关元件进行冷却;  
冷却介质状态检测器,该冷却介质状态检测器检测通过所述冷却器的冷却介质的状态;以及  
控制装置,该控制装置控制所述开关元件来进行功率转换,并且进行所述开关元件的过热防止控制,所述功率转换装置的特征在于,  
所述控制装置基于由所述冷却介质状态检测器检测出的所述冷却介质的状态来决定用于判定是否需要过热防止控制的温度阈值,在由所述元件温度检测器检测出的温度比所述温度阈值要高的情况下限制所述开关元件的动作来进行过热防止控制。
2. 如权利要求1所述的功率转换装置,其特征在于,  
所述冷却介质状态检测器是检测所述冷却介质的温度的冷却介质温度检测器。
3. 如权利要求1所述的功率转换装置,其特征在于,  
所述冷却介质状态检测器是检测所述冷却器的温度的冷却器温度检测器。
4. 如权利要求2或3所述的功率转换装置,其特征在于,  
随着由所述冷却介质状态检测器检测出的温度变高,所述控制装置将所述温度阈值设定得较高。
5. 如权利要求1所述的功率转换装置,其特征在于,  
在由所述元件温度检测器检测出的温度比所述温度阈值要高的情况下,所述控制装置随着由所述元件温度检测器检测出的温度与所述温度阈值之差变大使限制所述开关元件的动作的限制率提高。
6. 如权利要求1所述的功率转换装置,其特征在于,  
所述冷却介质状态检测器是检测所述冷却介质的流量的冷却介质流量检测器。
7. 如权利要求6所述的功率转换装置,其特征在于,  
随着由所述冷却介质流量检测器检测出的冷却介质的流量变多,所述控制装置将所述温度阈值设定得较高。
8. 如权利要求1所述的功率转换装置,其特征在于,  
作为所述冷却介质状态检测器,具备检测所述冷却介质的温度的冷却介质温度检测器、以及检测所述冷却介质的流量的冷却介质流量检测器,  
所述控制装置基于由所述冷却介质温度检测器检测出的所述冷却介质的温度、和由所述冷却介质流量检测器检测出的所述冷却介质的流量,来决定所述温度阈值。
9. 如权利要求8所述的功率转换装置,其特征在于,  
所述控制装置随着由所述冷却介质流量检测器检测出的冷却介质的流量变多将所述温度阈值设定得较高,并且随着由所述冷却介质状态检测器检测出的温度变高将所述温度阈值设定得较高。
10. 如权利要求1所述的功率转换装置,其特征在于,  
所述开关元件并列地设有多个,  
所述元件温度检测器的数量比所述开关元件的数量要少。

11. 如权利要求10所述的功率转换装置,其特征在于,包括:

多相臂,该多相臂分别设有连接到直流电源的正极侧的正极侧开关元件、连接到所述直流电源的负极侧的负极侧开关元件、以及将所述正极侧开关元件和所述负极侧开关元件串联连接且将电流提供到外部的的外部连接点;

正极侧元件温度检测器,该正极侧元件温度检测器检测所述正极侧开关元件的温度;  
以及

负极侧元件温度检测器,该负极侧元件温度检测器检测所述负极侧开关元件的温度,  
所述控制装置在所述正极侧元件温度检测器或所述负极侧元件温度检测器检测出的温度比所述温度阈值要大的情况下限制所述开关元件的动作。

12. 如权利要求1所述的功率转换装置,其特征在于,所述元件温度检测器是热敏电阻。

13. 如权利要求1所述的功率转换装置,其特征在于,所述开关元件由宽带隙半导体所形成。

## 功率转换装置

### 技术领域

[0001] 本公开涉及功率转换装置。

### 背景技术

[0002] 功率转换装置用于转换电力的输出形式。作为功率转换装置,存在将交流电向直流电转换的AC/DC转换器(Alternate Current/Direct Current Converter)、从直流电向交流电转换的逆变器(Inverter)、使直流电的输入电压和输出电压的电平变化的DC/DC转换器(Direct Current/Direct Current Converter)等。这些功率转换装置大多是具备半导体开关元件的结构。

[0003] 功率转换装置通过半导体开关元件的开关动作来控制流过的电流。然后,通过该开关动作转换输入功率来得到输出功率。半导体开关元件因流过半导体开关元件的电流而产生功率损耗。大部分功率损耗成为热,使半导体开关元件的温度上升。半导体开关元件的动作上限温度 $T_{jmax}$ 是确定的,如果超过该动作上限温度 $T_{jmax}$ 也继续驱动,则半导体开关元件有可能因过热而发生性能劣化或损坏。因此,为了防止半导体开关元件的过热,功率转换装置有时具备冷却发热部的冷却器。(动作上限温度 $T_{jmax}$ 未图示)

[0004] 为了防止功率转换装置的半导体开关元件的过热,公开了一种技术,具备能检测半导体开关元件的温度的温度检测器,在检测温度超过规定的阈值的情况下降低功率转换装置的输出。通过降低功率转换装置的输出,从而能保护半导体开关元件的温度不超过动作上限温度 $T_{jmax}$ (例如,专利文献1)。

现有技术文献

专利文献

[0005] 专利文献1:日本专利特开2001-169401号公报

### 发明内容

[0006] 专利文献1的技术中,在一部分半导体开关元件的温度检测器所得出的检测温度超过规定的阈值的情况下,一律限制功率转换装置的输出。然而,无法根据冷却半导体开关元件的冷却器的状态,来应对半导体开关元件的接合部的温度上升的行为发生变化的情形。因此,根据冷却器的状态,尽管半导体开关元件的接合部的温度上升的行为仍然是允许的状态,但有时检测温度超过规定的阈值而过度限制输出。该情况下,功率转换装置将过度限制半导体开关元件的性能,导致无法充分发挥性能。

[0007] 本申请公开用于解决上述问题的技术。在具有冷却器的功率转换装置中,基于在冷却器中流过的冷却介质的状态来变更判定功率转换装置的输出限制的检测温度的阈值。由此,其目的在于提供一种高效的功率转换装置,能更恰当地防止半导体开关元件的过热,并且抑制过度限制功率转换装置的输出的情况。

用于解决技术问题的技术手段

[0008] 本申请所涉及的功率转换装置包括:

开关元件,该开关元件使电流通电、切断;  
元件温度检测器,该元件温度检测器检测开关元件的温度;  
冷却器,该冷却器对开关元件进行冷却;  
冷却介质状态检测器,该冷却介质状态检测器检测通过冷却器的冷却介质的状态;以及

控制装置,该控制装置控制开关元件来进行功率转换,并且进行开关元件的过热防止控制,

控制装置基于由冷却介质状态检测器检测出的冷却介质的状态来决定用于判定是否需要过热防止控制的温度阈值,在由元件温度检测器检测出的温度比温度阈值要高的情况下限制开关元件的动作来进行过热防止控制。

#### 发明效果

[0009] 根据本申请,在具有冷却器的功率转换装置中,基于在冷却器中流过的冷却介质的状态来变更判定功率转换装置的输出限制的检测温度的阈值。能构成为在半导体开关元件的温度检测器所得出的检测温度比该温度阈值要高的情况下限制功率转换装置的输出。由此,能提供一种高效的功率转换装置,可以更恰当地防止半导体开关元件的过热,并且抑制过度限制功率转换装置的输出的情况。

#### 附图说明

[0010] 图1是实施方式1所涉及的功率转换装置的结构图。

图2是实施方式1所涉及的功率转换装置的控制装置的硬件结构图。

图3是实施方式1所涉及的功率转换装置的控制装置的功能框图。

图4是对实施方式1所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值与元件温度的关系进行说明的第一图。

图5是对实施方式1所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值与元件温度的关系进行说明的第二图。

图6是对实施方式1所涉及的功率转换装置的冷却介质温度与可变地设定的温度阈值的关系进行说明的图。

图7是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第一时序图。

图8是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第二时序图。

图9是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置的可变地设定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第一时序图。

图10是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置的可变地设定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第二时序图。

图11是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值的过热防止时的冷却介质温度与元件温度的关系的图。

图12是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置的可变地设定的温度阈值的过热防止时的冷却介质温度与元件温度的关系的图。

图13是实施方式1所涉及的功率转换装置的第二实施例的结构图。

图14是实施方式1所涉及的功率转换装置的第三实施例的结构图。

图15是实施方式1所涉及的功率转换装置的第四实施例的结构图。

图16是实施方式1所涉及的功率转换装置的第五实施例的结构图。

图17是实施方式1所涉及的功率转换装置的第六实施例的结构图。

图18是实施方式2所涉及的功率转换装置的结构图。

图19是实施方式2所涉及的功率转换装置的控制装置的功能框图。

图20是对实施方式2所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值与元件温度的关系进行说明的第一图。

图21是对实施方式2所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值与元件温度的关系进行说明的第二图。

图22是对实施方式2所涉及的功率转换装置的冷却介质流量与可变地设定的温度阈值的关系进行说明的图。

图23是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第一时序图。

图24是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第二时序图。

图25是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置的可变地设定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第一时序图。

图26是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置的可变地设定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第二时序图。

图27是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置的被固定的温度阈值的过热防止时的冷却介质流量与元件温度的关系的图。

图28是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置的可变地设定的温度阈值的过热防止时的冷却介质流量与元件温度的关系的图。

图29是实施方式3所涉及的功率转换装置的结构图。

图30是实施方式3所涉及的功率转换装置的控制装置的功能框图。

图31是对实施方式3所涉及的功率转换装置的冷却能力与可变地设定的温度阈值的关系进行说明的图。

## 具体实施方式

[0011] 下面,参照附图对本申请所涉及的功率转换装置的实施方式进行说明。

### [0012] 1.实施方式1

<功率转换装置的结构>

图1是实施方式1所涉及的功率转换装置100的结构图。功率转换装置100可以用于电动汽车、插电式混合动力汽车等电动车辆。可以假设用于驱动由高压电池的电力来作为动力的电动机的功率转换装置。

[0013] 功率转换装置100包括通过开关动作来转换功率的半导体开关元件51至56、冷却器351、控制装置90以及元件温度检测器71至76。冷却器351冷却半导体开关元件51至56。控

制装置90控制半导体开关元件51至56。元件温度检测器71至76检测半导体开关元件51至56的温度。

[0014] 在元件温度检测器71至76的温度检测值T1至T6比规定的温度阈值OT要高的情况下,控制装置90限制半导体开关元件51至56的驱动以抑制半导体开关元件51至56的温度上升。防止半导体开关元件51至56的过热的控制一般也被称为过热保护控制。

[0015] 冷却器351设有检测在冷却器351中流过的冷却介质的状态的冷却介质状态检测单元。图1中,作为冷却介质状态检测单元,设有检测流入冷却器351的冷却水的温度的水温传感器36。控制装置90基于水温传感器36检测出的冷却介质的温度TW来设定温度阈值。

[0016] 图1中,示出了包含向功率转换装置100提供直流电并利用再生电力进行充电的电池等直流电源12、以及控制对象的旋转电机10。控制对象不限于旋转电机10,也可以为旋转电机10以外。

[0017] 在图1中,功率转换装置100通过正极侧的直流母线1a和负极侧的直流母线1b与直流电源12连接,与直流电源12交换驱动电力和再生电力。此外,功率转换装置100通过交流母线2与旋转电机10连接,并与旋转电机10交换驱动电力和再生电力。

[0018] 旋转电机10设有检测旋转电机10的旋转角 $\theta_m$ 的旋转角传感器11。旋转电机10对负载进行旋转驱动,并且能将负载的旋转能量作为电能来再生,例如可以使用永磁体三相交流同步电动机、三相无刷电动机。(旋转角 $\theta_m$ 未图示)

[0019] 功率转换装置100具备功率转换部20,组装有冷却功率转换部20的发热部的冷却器351。功率转换部20包括连接到直流电源12的正极侧的直流母线1a和负极侧的直流母线1b、连接在它们之间的电容器21、以及检测功率转换部20的直流母线电压的电压检测部24。功率转换部20由多个半导体开关元件51至56构成,包括进行直流/交流的功率转换的逆变器电路25、以及检测流过交流母线2的旋转电机10的电流的电流检测部26。功率转换部20具备用于切换半导体开关元件51至56的导通和关断的驱动电路27。功率转换部20由控制装置90来控制。

[0020] 电容器21具有抑制直流母线电压的纹波的功能、使功率转换部20的电源阻抗降低来提高功率转换部20的交流电流驱动能力的功能、吸收浪涌电压的功能等。此外,电压检测部24通过分压电阻等将直流母线电压分压为由控制装置90读入的电压,并向控制装置90输出直流母线电压信息。

[0021] 逆变器电路25是将一般众所周知的6个半导体开关元件51至56进行全桥连接而得的逆变器。即,如图1所示,半导体开关元件51、52、半导体开关元件53、54、半导体开关元件55、56分别是上级侧的半导体开关元件和下级侧的半导体开关元件。上级侧的半导体开关元件和下级侧的半导体开关元件串联连接,并相对于直流电源12并联连接。

[0022] 此外,半导体开关元件51、52的中点与旋转电机10的U相的输入相连接。半导体开关元件53、54的中点与旋转电机10的V相的输入相连接。半导体开关元件55、56的中点与旋转电机10的W相的输入相连接。半导体开关元件51至56分别内置在半导体模块61至66中。

[0023] <半导体开关元件>

半导体开关元件使用电流仅在一个方向上流过的二极管、适于处理大电流的晶闸管、作为能在高开关频率下动作的功率半导体开关元件的功率晶体管。功率晶体管广泛应用于汽车、冰箱、空调等领域。在功率晶体管中,存在IGBT(Insulated Gate Bipolar

Transistor:绝缘栅双极型晶体管)、MOS-FET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor:金属氧化物半导体场效应晶体管),这些功率晶体管根据各种用途被区分使用。

[0024] 近年来,碳化硅(SiC:Silicon Carbide)、氮化镓(GaN:Gallium Nitride)作为半导体开关元件的材料受到关注。与使用了传统硅(Si:Silicon)的半导体开关元件相比,由这些材料形成的半导体开关元件在导通状态下的半导体开关元件的电阻值较低,能够降低功率损耗。另外,电子饱和速度较高,通过使导通和关断的状态的切换高速化,从而能够降低功率损耗。此外,与硅相比,使用了碳化硅或氮化镓的半导体开关元件能在更高温的环境下驱动。

[0025] 半导体开关元件51至56例如是图1所示那样的在源极和漏极间内置有二极管的MOSFET。另外,半导体开关元件的种类、个数不限于此。半导体开关元件例如可以是IGBT和使用SiC的MOSFET等半导体开关元件。

[0026] 此外,在逆变器电路25中,为了检测半导体开关元件51至56的温度,在半导体模块61至66的内部或附近分别设置有元件温度检测器71至76。由元件温度检测器71至76检测出的温度检测值T1至T6被输入到控制装置90。元件温度检测器71至76是实施方式1中的元件温度检测器。

[0027] 另外,检测半导体开关元件51至56的温度的元件温度检测器71至76可以设置在半导体模块61至66的内部。元件温度检测器71至76可以设置在半导体模块61至66所设置的基板上,也可以设置在半导体模块61至66的附近。元件温度检测器71至76假设为热敏电阻。另外,温度检测器不限于热敏电阻,也可以构成为利用配置在半导体开关元件51至56的半导体基板上的温度检测用二极管等来检测温度。

[0028] 电流检测器26由U相电流检测部261、V相电流检测部262和W相电流检测部263构成。U相电流检测部261、V相电流检测部262和W相电流检测部263例如使用分流电阻来构成。U相电流检测部261将对应于U相电流 $I_u$ 的U相电流检测值输出到控制装置90。V相电流检测部262将对应于V相电流 $I_v$ 的V相电流检测值输出到控制装置90。W相电流检测部263将对应于W相电流 $I_w$ 的W相电流检测值输出到控制装置90。另外,在以下说明中,U相电流检测值、V相电流检测值和W相电流检测值有时统称为电流检测值。此外,电流检测部26可以设为使用了霍尔元件等的电流传感器。

[0029] 驱动电路27基于从控制装置90输入的PWM信号进行控制。驱动电路27具有切换半导体开关元件51至56的导通和关断的功能。

[0030] 旋转角传感器11通过旋转变压器、编码器等对旋转电机10的转子旋转角 $\theta_m$ 进行检测。旋转角传感器11所检测出的转子旋转角 $\theta_m$ 被输出到控制装置90。基于旋转电机10的极对数将转子旋转角 $\theta_m$ 换算成电气角 $\theta_e$ 。

[0031] 冷却装置350的冷却器351冷却半导体开关元件51至56。冷却装置350例如是水冷式冷却装置。具体而言,冷却装置350构成为通过软管等冷却水配管来连接水冷式的冷却器351、散热器352、水泵353等。使水、油或LLC(LongLifeCoolant:长寿冷却剂)等冷却介质从水泵353经由散热器352流入冷却器351。冷却介质的流动方向可以设为从散热器352经由水泵353流过冷却器351。

[0032] 水温传感器36是实施方式1中的冷却介质状态检测单元,检测在冷却水配管的内



部流动的冷却介质的温度 $T_W$ ,并输出到控制装置90。水温传感器36例如配置在半导体模块正下方的冷却器内。另外,水温传感器36无需限定于配置在冷却器内的结构,也可以构成为配置在冷却水配管内。

[0033] <控制装置的硬件结构>

图2是实施方式1所涉及的功率转换装置100的控制装置90的硬件结构图。图2也能应用于控制装置90A、90B,但这里作为代表对控制装置90进行说明。本实施方式中,控制装置90是控制功率转换装置100的控制装置。控制装置90的各功能由控制装置90所具备的处理电路来实现。具体而言,控制装置90作为处理电路,包括CPU(Central Processing Unit:中央处理单元)等运算处理装置80(计算机)、与运算处理装置80进行数据交换的存储装置81、向运算处理装置80输入外部的信号的输入电路82、以及从运算处理装置80向外部输出信号的输出电路83等。

[0034] 作为运算处理装置80,可以具备ASIC(Application Specific Integrated Circuit:专用集成电路)、IC(Integrated Circuit:集成电路)、DSP(Digital Signal Processor:数字信号处理器)、FPGA(Field Programmable Gate Array:现场可编程门阵列)、各种逻辑电路、以及各种信号处理电路等。此外,作为运算处理装置80,也可以具备多个同种或不同种的运算处理装置来分担执行各处理。作为存储装置81,可以具备构成为能从运算处理装置80读取并写入数据的RAM(Random Access Memory:随机存取存储器)、构成为能从运算处理装置80读取数据的ROM(Read only Memory:只读存储器)等。输入电路82具备AD转换部、输入电路等接口电路,其包含旋转角传感器11、电压检测部24、电流检测部26、元件温度检测器71至76、水温传感器36在内,并连接有各种传感器和开关,并将这些传感器和开关的输出信号输入到运算处理装置80。输出电路83具备驱动电路、通信电路等接口电路,其包含驱动电路27在内,并连接有开关元件、致动器等电负载,对来自运算处理装置80的输出信号进行转换并输出到这些电负载。

[0035] 控制装置90所具备的各功能通过运算处理装置80执行ROM等存储装置81所存储的软件(程序),并与存储装置81、输入电路82以及输出电路83等控制装置90的其他硬件进行协作来实现。另外,控制装置90所使用的阈值、判定值等设定数据作为软件(程序)的一部分被存储于ROM等存储装置81。

[0036] 控制装置90的内部所搭载的各功能可以分别由软件的模块来构成。然而,控制装置90的内部所搭载的各功能也可以通过软件和固件的组合来构成。

[0037] <控制装置的功能块>

图3是实施方式1所涉及的功率转换装置100的控制装置90的功能框图。图3中,控制装置90具有温度阈值设定部91、过热保护控制部92、电流指令生成部93、三相/二相转换部94、电压指令生成部95、二相/三相转换部96、占空比转换部97以及PWM信号生成部98。

[0038] 从上位的系统(未图示)向电流指令生成部93输入转矩指令值 $Trq^*$ 。另外,作为用于控制旋转电机10的控制指令,例如可举出转矩指令、电流指令、电压指令等。实施方式1中,例示了采用转矩指令值 $Trq^*$ 作为控制指令的情况。电流指令生成部93根据该转矩指令值 $Trq^*$ 生成d轴电流指令值 $I_d^*$ 及q轴电流指令值 $I_q^*$ 。

[0039] 这里,d轴表示旋转电机10的磁极位置、即磁通的方向,q轴表示与d轴电正交的方向,构成d-q轴坐标系。d-q轴坐标系是旋转坐标系,当具有磁铁的旋转电机10的转子旋转

时,d-q轴坐标系也旋转。

[0040] 温度阈值设定部91具有作为本申请特征的、基于冷却介质的状态来计算实施过热保护控制的温度阈值的功能。

[0041] 温度阈值设定部91从水温传感器36输入冷却介质的温度TW,基于该冷却介质的温度TW来计算实施过热保护控制的温度阈值OT。然后,将温度阈值OT输出到过热保护控制部92。对于温度阈值设定部91的详细结构将在后面描述。

[0042] 过热保护控制部92具有作为本申请特征的、基于根据冷却介质的温度TW计算出的温度阈值OT来控制开关元件的动作以限制电流的功能。过热保护控制部92输入有d轴电流指令值Id\*、q轴电流指令值Iq\*、温度阈值OT、以及来自元件温度检测器71至76的温度检测值T1至T6,在温度检测值T1至T6的最大值比温度阈值OT要大的情况下,将d轴电流指令值Id\*、q轴电流指令值Iq\*限制为规定的电流指令值,并生成d轴电流指令值Idc、q轴电流指令值Iqc。在温度检测值T1至T6的最大值比温度阈值OT要小的情况下,生成d轴电流指令值Id\*、q轴电流指令值Iq\*以作为d轴电流指令值Idc、q轴电流指令值Iqc。

[0043] 三相/二相转换器94根据电流检测器26的电流检测值和与旋转角传感器11检测到的电气角 $\theta_e$ 相对应的角度检测值,计算d轴电流检测值Id和q轴电流检测值Iq。这里,电流检测器26的电流检测值由与U相电流检测部261检测到的U相电流Iu相对应的U相电流检测值、与V相电流检测部262检测到的V相电流Iv相对应的V相电流检测值、以及与W相电流检测部263检测到的W相电流Iw相对应的W相电流检测值构成。

[0044] 电压指令生成部95根据d轴电流指令值Idc和q轴电流指令Iqc值、以及d轴电流检测值Id和q轴电流检测值Iq来进行电流反馈运算,从而计算d轴电压指令Vdc和q轴电压指令Vqc。具体而言,例如,电压指令生成部95构成为计算d轴电压指令Vdc和q轴电压指令Vqc,从而使得d轴电流指令值Idc与d轴电流检测值Id之间的偏差即电流偏差 $\Delta Id$ 、和q轴电流指令值Iqc与q轴电流检测值Iq之间的偏差即电流偏差 $\Delta Iq$ 分别收敛于“0”。( $\Delta Id$ 、 $\Delta Iq$ 未图示)

[0045] 二相/三相转换部96根据从电压指令生成部95获取到的d轴电压指令Vdc及q轴电压指令Vqc、以及从旋转角传感器11获取到的电气角 $\theta_e$ ,计算三相电压指令Vuc、Vvc、Vwc。另外,三相电压指令Vuc、Vvc、Vwc优选设定为输入到功率转换部20的直流电源电压,即由电压检测部24检测出的输入电压Vpn以下。

[0046] 占空比转换部97根据从二相/三相转换部96获取到的三相电压指令Vuc、Vvc、Vwc及输入电压Vpn,生成三相各相的占空比指令Du、Dv、Dw。占空比转换部97生成与最适校正控制指令相对应的负载指令Du、Dv、Dw并输出。

[0047] PWM信号生成部98生成PWM信号。PWM信号生成部98根据从占空比转换部97获取到的各相的占空比指令Du、Dv、Dw,生成用于将半导体开关元件51至56分别切换控制为导通和关断的PWM信号。

[0048] 具体而言,PWM信号生成部98通过比较各相的占空比指令Du、Dv、Dw和载波来生成PWM信号。PWM信号生成部98例如构成为采用三角波比较方式、锯齿波比较方式等来生成PWM信号,上述三角波比较方式将具有上升速度和下降速度彼此相等的2个等边三角形形状的三角波设为载波。

[0049] 另外,图3中,作为由PWM信号生成部98生成的PWM信号,分别示出提供给U相上臂的半导体开关元件51的PWM信号UH\_SW、提供给V相上臂的开关元件53的PWM信号VH\_SW、提供给

W相上臂的开关元件55的PWM信号WH\_SW。然后,同样作为由PWM信号生成部98生成的PWM信号,分别示出提供给U相下臂的开关元件52的PWM信号UL\_SW、提供给V相下臂的开关元件54的PWM信号VL\_SW、提供给W相下臂的开关元件56的PWM信号WL\_SW。

[0050] PWM信号生成部98生成的PWM信号从控制装置90输入到功率转换部20的驱动电路27。通过驱动电路27,半导体开关元件51至56基于PWM信号进行导通关断动作,将直流电转换为交流电并提供给电动机10,并且将在旋转电机10的再生状态下产生的再生电力充电到直流电源12。

[0051] 这里,实施方式1所涉及的功率转换装置100的特征点在于,对控制装置90设有温度阈值设定部91以及过热保护控制部92这一点。在温度阈值设定部91中基于冷却介质的温度TW来设定温度阈值OT,在过热保护控制部92中基于温度检测值T1至T6和温度阈值OT将d轴电流指令值和q轴电流指令值限制为规定的电流指令值。并且,实施方式1所涉及的功率转换装置的特征点在于,冷却介质的温度TW越高则温度阈值设定部91将温度阈值OT设定得越高的点。

[0052] <温度阈值OT为固定值的情况>

这里,为了说明实施方式1所涉及的功率转换装置100的特征、即基于冷却介质的温度TW来设定温度阈值OT的效果,对温度阈值OT为固定值的情况进行说明。温度阈值OT为固定值时,根据冷却介质的状态,尽管处于仍然允许半导体开关元件51至56的温度上升的状态,但还是会产生过度限制输出的情况。该情况下,使用图4、5来说明。

[0053] 图4是对实施方式1所涉及的功率转换装置100的所固定的温度阈值OT与元件接合部温度TJ的关系进行说明的第一图。另外,图5是对温度阈值OT与元件接合部温度TJ的关系进行说明的第二图。另外,冷却介质是水、油或LLC等液体。

[0054] 图4是示意性示出在冷却介质的温度TW较低的情况下、使功率转换装置100从停止状态以恒定负载驱动时的半导体开关元件51至56的接合部温度TJ与元件温度检测器71至76所得出的检测温度TD的时序的图。这里,接合部温度TJ是由特殊的试验装置或附加的温度传感器等测量或推定出的半导体开关元件的接合部温度,在适用于市场的产品中难以测量。元件温度检测器71至76所得出的温度检测值T1至T6以下统称为检测温度TD来说明。

[0055] 图5是示意性示出在冷却介质的温度TW较高的情况下、使功率转换装置从停止状态以恒定负载驱动时的半导体开关元件51至56的实际接合部温度TJ与元件温度检测器71至76所得出的检测温度TD的时序的图。另外,关于元件接合部温度TJ和检测温度TD的时序图,图4、5中示出未实施过热保护时的温度的时序图,以便于判定并示出冷却介质的温度TW的高低所引起的温度上升的差异。图4、5中,在曲线的起点,检测温度TD、接合部温度TJ均变为与冷却介质的温度TW相等。

[0056] 在具备冷却半导体开关元件51至56的发热体的冷却器351的功率转换装置100中,在冷却介质的温度TW较低的情况下,冷却介质的温度与半导体开关元件的动作极限温度OTJ之差变大。换言之,以冷却介质的温度为基准而允许的半导体开关元件的温度上升量变大。因此,在冷却介质的温度较低的情况下,与冷却介质的温度较高的情况相比能使冷却性能(冷却能力)降低,以使冷却介质循环的水泵353等泵辅机的功率抑制为目的,一般使冷却介质的流量降低。此外,作为冷却介质的液体具有随着温度降低而粘度变高且难以流动的特性,因此,有时也会发生冷却介质的流量下降。

[0057] 在这种状态下,与冷却介质的温度较高的情况相比,冷却介质的流量变小,冷却性能下降。因此,如图4所示,在实施使半导体开关元件51至56的损耗相同的驱动的情况下,与冷却介质的温度较高的情况相比,半导体开关元件的温度上升从更低的温度开始,温度上升的斜率变得陡峭。

[0058] 在检测半导体开关元件51至56的温度的元件温度检测器71至76中,如上所述,热敏电阻、温度检测用二极管等温度传感器配置在半导体模块的内部、半导体模块外的附近。然而,直接测定半导体开关元件的温度最高的接合部温度(结温)  $T_J$  较为困难,检测温度  $T_D$  会偏离半导体开关元件的接合部温度  $T_J$ 。

[0059] 此外,在元件温度检测器71至76的检测温度  $T_D$  与测定对象的温度一致之前,还产生时间延迟(响应延迟)。因此,在半导体开关元件51至56的温度上升较陡的情况下,与温度上升较缓的情况相比,如图4所示,半导体开关元件51至56的实质的元件接合部温度  $T_J$  与元件温度检测器71至76的检测温度  $T_D$  的偏离变大。因此,在冷却介质的温度  $T_W$  较低的情况下,与温度较高的情况相比,半导体开关元件51至56的接合部温度  $T_J$  到达动作极限温度  $OT_J$  时的元件温度检测器71至76的检测温度  $T_D$  如图4所示那样需要设为足够低的值。

[0060] 即,在检测温度  $T_D$  超过固定值的温度阈值  $OT$  时通过降低功率转换装置的输出来防止半导体开关元件的过热的比较例中,根据图4所示的冷却介质的温度  $T_W$  较低的状态(冷却性能较低的状态)的情况,需要将温度阈值  $OT$  设定为比半导体开关元件的接合部温度  $T_J$  到达动作极限温度  $OT_J$  时的元件温度检测器71至76的检测温度  $T_D$  要足够低的值。该情况下,如图5所示,在冷却介质的温度  $T_W$  较高的状态(冷却性能较高的状态)下,尽管处于半导体开关元件51至56的接合部温度  $T_J$  尚未到达动作极限温度  $OT_J$  且温度上升尚被允许的状态,但元件温度检测器71至76的检测温度  $T_D$  超过规定的温度阈值  $OT$ , 因此,成为过度实施过热保护的动作。

[0061] <将温度阈值  $OT$  设为可变值的情况>

因此,实施方式1所涉及的功率转换装置100中,构成为在温度阈值设定部91中基于冷却介质的温度  $T_W$  来设定温度阈值  $OT$ 。冷却介质的温度  $T_W$  越高则将温度阈值  $OT$  设定得越高。

[0062] 图6是对实施方式1所涉及的功率转换装置100的冷却介质温度  $T_W$  与可变地设定的温度阈值  $OT$  的关系进行说明的图。以下,对实施方式1所涉及的功率变换装置100的特征、即温度阈值设定部91和过热保护控制部92的动作进行说明。

[0063] 温度阈值设定部91将来自水温传感器36的冷却介质的温度  $T_W$  设为输入,并输出实施过热保护控制的温度阈值  $OT$ 。温度阈值设定部91预先具备相对于冷却介质的温度  $T_W$  的温度阈值  $OT$  的阈值设定映射。为了防止半导体开关元件的热损坏,相对于冷却介质的温度  $T_W$  的温度阈值  $OT$  需要设定为即使在最严格的驱动条件下半导体开关元件的接合部温度  $T_J$  也不超过动作极限温度  $OT_J$ 。

[0064] 针对冷却介质的温度  $T_W$  决定温度阈值  $OT$ 。在冷却介质的温度  $T_W$  的各状态下,在半导体开关元件51至56中的功率损耗为最大的驱动条件下驱动功率转换装置100的情况下,将温度阈值  $OT$  设定为比半导体开关元件51至56的接合部温度  $T_J$  到达动作极限温度  $OT_J$  的时刻下的元件温度检测器71至76的检测温度  $T_D$  要低规定的余量的温度。

[0065] 这里,如使用图4、5所说明的那样,在冷却介质的温度较低的情况下,与温度较高

的情况相比,半导体开关元件51至56的接合部温度 $T_J$ 到达动作极限温度 $OT_J$ 的时刻下的元件温度检测器的检测温度 $T_D$ 成为较低的值。因此,相对于冷却介质的温度 $T_W$ 的温度阈值 $OT$ 的阈值设定映射如图6所示那样,设定为冷却介质的温度 $T_W$ 越高则温度阈值 $OT$ 变得越高的趋势。

[0066] 过热保护控制部92具有基于根据冷却介质的温度 $T_W$ 计算出的温度阈值 $OT$ 来控制半导体开关元件51至56的动作以限制电流的功能。过热保护控制部92从电流指令生成部93输入d轴电流指令值 $I_d^*$ 及q轴电流指令值 $I_q^*$ ,从温度阈值设定部91输入温度阈值 $OT$ ,从元件温度检测器71至76输入温度检测值 $T_1$ 至 $T_6$ 。

[0067] 在过热保护控制部92中,对温度检测值 $T_1$ 至 $T_6$ 的最大温度 $T_{max}$ 与温度阈值 $OT$ 进行比较,在最大温度 $T_{max}$ 比温度阈值 $OT$ 要大的情况下,生成对d轴电流指令值 $I_d^*$ 、q轴电流指令值 $I_q^*$ 乘以比1小的比例(过热保护增益 $G$ )而得的指令值以作为d轴电流指令值 $I_{dc}$ 、q轴电流指令值 $I_{qc}$ ,并输出到电压指令生成部95。最大温度 $T_{max}$ 越大,则该过热保护增益 $G$ 设定为越小的值。另外,过热保护增益 $G$ 的设定不限于此,也可以设定为比1要小的规定的值。

( $T_{max}$ 未图示)

[0068] 在温度检测值 $T_1$ 至 $T_6$ 的最大值比温度阈值 $OT$ 要小的情况下,生成d轴电流指令值 $I_d^*$ 、q轴电流指令值 $I_q^*$ 并直接作为d轴电流指令值 $I_{dc}$ 、q轴电流指令值 $I_{qc}$ 。然后,将它们输出到电压指令生成部95。另外,在最大温度 $T_{max}$ 与温度阈值 $OT$ 的比较中,可以设置规定的迟滞以避免过热保护控制的切换所引起的振荡。

[0069] 此外,过热保护控制部92设定比温度阈值 $OT$ 要低的温度即限制解除温度阈值 $Trst$ ,以作为用于解除过热保护限制的温度阈值,在最大温度 $T_{max}$ 比温度阈值 $OT$ 要大的情况下,继续上述电流指令值的限制处理,直到最大温度 $T_{max}$ 成为比限制解除温度阈值 $Trst$ 要低的温度为止。(限制解除温度阈值 $Trst$ 未图示)

[0070] 由此,在半导体开关元件51至56的元件接合部温度 $T_J$ 有可能超过动作极限温度 $OT_J$ 的情况下,成为限制动作以使得流过半导体开关元件51至56的电流减少的动作,通过减小半导体开关元件51至56的损耗从而半导体开关元件51至56的温度上升得到抑制,能防止半导体开关元件51至56的接合部温度 $T_J$ 超过动作极限温度 $OT_J$ 而产生热损坏的情况。

[0071] 另外,在温度检测值 $T_1$ 至 $T_6$ 的最大温度 $T_{max}$ 比温度阈值 $OT$ 要大的情况下,过热保护控制部92生成对d轴电流指令值 $I_d^*$ 、q轴电流指令值 $I_q^*$ 乘以比1要小的比例(过热保护增益 $G$ )而得的指令值以作为d轴电流指令值 $I_{dc}$ 、q轴电流指令值 $I_{qc}$ ,但限制电流指令值的方法不限于此。例如,可以将d轴电流指令值 $I_d^*$ 、q轴电流指令值 $I_q^*$ 限制为规定的电流指令值,以作为d轴电流指令值 $I_{dc}$ 、q轴电流指令值 $I_{qc}$ 来生成。

[0072] <效果的比较>

这里,使用图7至图10来说明在应用以上控制的情况下与比较例相比的效果。说明通过功率转换装置100能可靠地防止半导体开关元件51至56的热损坏、且能抑制过度限制功率转换装置的输出的情况。

[0073] 图7是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置100的所固定的温度阈值 $OT$ 的过热防止时的温度的推移的第一时序图。图8是示出基于所固定的温度阈值的过热防止时的温度的推移的第二时序图。

[0074] 图7、8是半导体开关元件51至56的接合部温度 $T_J$ 与元件温度检测器71至76的检测

温度TD的时序图。图7是在冷却介质的温度TW较低的情况下使功率转换装置100从停止状态以恒定的负载驱动时的时序图。图8是在冷却介质的温度TW较高的情况下使功率转换装置100从停止状态以恒定的负载驱动时的时序图。

[0075] 图9是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置100的可变地设定的温度阈值OT的过热防止时的温度的推移的第一时序图。图10是示出基于可变地设定的温度阈值OT的过热防止时的温度的推移的第二时序图。

[0076] 图9、10是应用了基于可变地设定的温度阈值OT的过热保护限制时的半导体开关元件51至56的接合部温度TJ和元件温度检测器71至76的检测温度TD的时序图。图9是在冷却介质的温度TW较低的情况下使功率转换装置从停止状态以恒定的负载驱动时的时序图，图10是在冷却介质的温度TW较高的情况下使功率转换装置从停止状态以恒定的负载驱动时的时序图。图7至10中，在曲线的起点，检测温度TD、接合部温度TJ均与冷却介质的温度TW相等。

[0077] 在应用基于所固定的温度阈值OT的过热保护限制的情况下，不论冷却介质的温度如何，都以相同的固定值即温度阈值OT来实施过热保护限制。因此，如图8所示，在冷却介质的温度较高的情况下，即使半导体开关元件51至56的接合部温度TJ相对于动作极限温度OTJ为足够低的温度，过热保护限制也动作。因此，功率转换装置100过度地限制半导体开关元件51至56的能力，无法充分发挥性能。

[0078] 另一方面，在应用基于可变地设定的温度阈值OT的过热保护限制的情况下，如图6所示，设定为在冷却介质的温度TW较低的情况下将温度阈值设定得较低，且冷却介质的温度TW越高则温度阈值OT越高，并实施过热保护限制。因此，如图10所示，即使在冷却介质的温度TW较高的情况下，在半导体开关元件51至56的接合部温度TJ为接近动作极限温度OTJ的温度的状态下过热保护限制也动作。

[0079] 图11是示出基于实施方式1所涉及的功率转换装置100的所固定的温度阈值OT的过热防止时的冷却介质温度TW与元件温度的关系的图。图12是示出基于可变地设定的温度阈值OT的过热防止时的冷却介质温度TW与元件温度的关系的图。图11、12示出相对于冷却介质的温度TW的、过热保护限制的温度阈值OT的设定、应用过热保护限制时的半导体开关元件的实际受限制的最大接合部温度OTJC、半导体开关元件的动作极限温度OTJ的关系。

[0080]

在基于所固定的温度阈值OT的过热保护限制中，如图11所示，不论冷却介质的温度如何，应用恒定的过热保护限制的温度阈值OT。因此，在冷却介质的温度TW较高的情况下，半导体开关元件51至56的实际受限制的最大接合部温度OTJC相对于动作极限温度OTJ成为较低的温度。换言之，在冷却介质的温度较高的情况下，成为即使相对于动作极限温度OTJ有余量也过度实施过热保护限制的行为。

[0081] 另一方面，在基于可变地设定的温度阈值OT的过热保护限制中，如图12所示，应用冷却介质的温度越高则变得越高的过热保护限制的温度阈值OT。因此，在冷却介质的温度TW较高的情况下，半导体开关元件51至56的实际受限制的最大接合部温度OTJC成为接近动作极限温度OTJ的温度。换言之，能提供高效的功率转换装置，即使在冷却介质的温度TW较高的情况下，也能防止超过半导体开关元件51至56的动作极限温度OTJ的情况，并抑制过度限制功率转换装置的输出。

### <总结>

[0082] 如以上所说明的那样,实施方式1的功率转换装置100具有检测冷却介质的温度的水温传感器36,以作为检测冷却器351中流过的冷却介质的状态的冷却介质状态检测单元,并基于冷却介质的温度TW来设定过热保护限制的温度阈值OT。因此,能构成为冷却介质的温度TW越高则将过热保护限制的温度阈值OT设定得越高。因此,能提供一种高效的功率转换装置,可以恰当地防止半导体开关元件51至56的过热,并且抑制过度限制功率转换装置的输出的情况。

[0083] 另外,如上所述,逆变器电路25的半导体开关元件51至56可以使用任意半导体元件来构成。例如,可以使用宽带隙半导体来构成。作为宽带隙半导体的材料,可举出SiC、GaN等。

[0084] 使用宽带隙半导体构成的半导体开关元件51至56与使用现有的硅半导体构成的开关元件相比,耐热性得以提高,能将动作极限温度OTJ设定得较高。即,与现有的硅半导体相比,宽带隙半导体的动作极限温度OTJ与冷却介质的温度TW之差更大,所允许的温度上升量较大。

[0085] 该情况下,半导体开关元件与元件温度检测器的检测温度TD的偏离也相对变大。因此,因冷却介质的温度TW的高低所引起的过热保护限制的温度阈值OT的高低之差也变大。即,在使用由宽带隙半导体所构成的开关元件的功率转换装置中,通过本实施方式的特征、即基于冷却介质的温度TW来变更并设定温度阈值OT,从而能更有效地防止过度限制功率转换装置的输出的情况。

[0086] 此外,检测半导体开关元件51至56的温度的元件温度检测器71至76设为热敏电阻、温度检测用二极管等。虽然也取决于元件温度检测器所搭载的场所,但一般情况下,热敏电阻的温度检测的响应性比温度检测用二极管要差,半导体开关元件的温度与元件温度检测器的检测温度TD的偏离在使用热敏电阻的情况下相对较大。因此,因冷却介质的温度TW的高低所引起的过热保护限制的温度阈值的高低之差也变大。即,在构成为元件温度检测器中使用热敏电阻的功率转换装置中,通过本实施方式的特征、即基于冷却介质的温度来变更并设定温度阈值,从而能更有效地防止过度限制功率转换装置的输出的情况。

### [0087] <第二实施例>

图13是实施方式1所涉及的功率转换装置的第二实施例的结构图。上述所说明的功率转换装置100中,示出具备水温传感器36来作为冷却介质状态检测单元的示例。说明由水温传感器36检测冷却介质的温度来作为冷却介质的状态、且冷却介质的温度越高则将过热保护限制的温度阈值OT设定得越高的方式。

[0088] 图13的功率转换装置100A中,构成为具备检测冷却器351A的温度的冷却器温度传感器37以代替水温传感器36。可以采用如下方式:具备冷却器温度传感器37来作为冷却介质状态检测单元,利用冷却器温度传感器37检测冷却器351A的温度以作为冷却介质的状态,冷却器的温度越高则将过热保护限制的温度阈值OT设定得越高。另外,控制装置90不需要硬件变更,仅通过软件变更就能应用,将标号设为与图1相同。以下,第三实施例至第六实施例所涉及的控制装置90也相同。

[0089] 冷却介质的温度TW越高则冷却器351A的温度变得越高,因此,在采用冷却器351A的温度越高则将过热保护限制的温度阈值OT设定得越高的方式的情况下,由于冷却介质的

温度TW越高则将过热保护限制的温度阈值OT设定得更高,由此能够同样得到防止过度限制功率转换装置100A的输出效果。

[0090] 此外,本实施方式中,构成为具备水温传感器36或冷却器温度传感器37来作为冷却介质状态检测单元。然而,功率转换装置不一定需要具备水温传感器36或冷却器温度传感器37。例如,冷却介质的温度信息可以从上位系统(未图示)等外部的系统通过通信被输入到功率转换装置。

[0091] <第三实施例>

图14是实施方式1所涉及的功率转换装置的第三实施例的结构图。图1中,功率转换装置100中的半导体模块61至66中,构成为对半导体开关元件51至55分别设置元件温度检测器71至76。与此相对地,图14所示的第三实施例所涉及的功率转换装置100B中,构成为对多个半导体开关元件51至56设置一个元件温度检测器73。通过该结构的变更,来变更功率转换部20A、逆变器电路25A的标号。

[0092] 该情况下,在与半导体开关元件51至56的温度相关的规定的部位设置元件温度检测器73。由此,能用一个元件温度检测器73来实现多个半导体开关元件51至56的保护。能进行过热保护而不使部件数量增加,能使功率转换器低成本化、小型化。

[0093] <第四实施例>

图15是实施方式1所涉及的功率转换装置的第四实施例的结构图。第三实施例所涉及的功率转换装置100B中的半导体模块61至66由一个半导体开关元件和一个元件温度检测器构成。

[0094] 与此相对地,图15所示的第四实施例所涉及的功率转换装置100C中,半导体模块61、63、65由上级侧的半导体开关元件51、53、55和一个元件温度检测器73构成,半导体模块62、64、66由下级侧的开关元件52、54、56和一个元件温度检测器74构成。通过该结构的变更,来变更功率转换部20B、逆变器电路25B的标号。

[0095] 由此,能在上级侧和下级侧分别设置元件温度检测器73、74,能更细致地检测温度。此外,能够通过一个温度检测器实现多个半导体开关元件的保护,能够在不增加部件数量的情况下进行过热保护,功率转换器能低成本化、小型化的效果也可以维持。

[0096] <第五实施例>

图16是实施方式1所涉及的功率转换装置的第五实施例的结构图。第五实施例所涉及的功率转换装置100D中,由上级侧的开关元件、下级侧的开关元件和一个元件温度检测器来构成1个上下臂。通过该结构的变更,来变更功率转换部20C、逆变器电路25C的标号。

[0097] 通过对每个上下臂设置元件温度检测器,从而能更细致地检测温度。此外,能够通过一个温度检测器实现多个半导体开关元件的保护,能够在不增加部件数量的情况下进行过热保护,功率转换器能低成本化、小型化的效果也可以维持。

[0098] <第六实施例>

图17是实施方式1所涉及的功率转换装置的第六实施例的结构图。第一实施例所涉及的功率转换装置100中半导体模块61至66由一个半导体开关元件和一个元件温度检测器构成。

[0099] 与此相对地,图17所示的第六实施例所涉及的功率转换装置100E中,半导体模块61A至66A由多个半导体开关元件51a、51b至56a、56b以及一个元件温度检测器71至76所构



成。通过该结构的变更,来变更功率转换部20D、逆变器电路25D的标号。

[0100] 由此,在半导体模块61A至66A中内置有多个开关元件51a、51b至56a、56的结构中,能利用一个温度检测器来实现多个半导体开关元件的保护。由此,能进行过热保护而不使部件数量增加,能使功率转换器低成本化、小型化。

## [0101] 2.实施方式2

### <功率转换装置的结构>

图18是实施方式2所涉及的功率转换装置100F的结构图。实施方式2所涉及的功率转换装置100F中,相对于实施方式1所涉及的图1的功率转换装置100,在冷却介质状态检测单元和控制装置90A中具有差异。

[0102] 更详细而言,实施方式2的功率转换装置100F中,作为冷却介质状态检测单元,在冷却器351B中具备检测冷却介质的流量的流量传感器38以代替水温传感器36。控制装置90A输入由流路传感器38所检测出的冷却介质的流量FW。然后,控制装置90A基于冷却介质的流量FW来设定温度阈值OT。

[0103] 以下,对于实施方式2所涉及的功率转换装置100F的结构和动作,基于图18至图28,以与实施方式1的差异为中心来进行说明。另外,与实施方式1相同或对应的部分附加相同标号。

[0104] 功率转换装置100F由功率转换部20、控制部90A和冷却器351B构成。流量传感器38检测在冷却水配管的内部流动的冷却介质的流量FW并输出到控制装置90A。流量传感器38例如配置在冷却器351B的冷却水配管内。

### [0105] <控制装置的功能块>

图19是实施方式2所涉及的功率转换装置100F的控制装置90A的功能框图。控制装置90A具有温度阈值设定部91A、过热保护控制部92、电流指令生成部93、三相/二相转换部94、电压指令生成部95、二相/三相转换部96、占空比转换部97以及PWM信号生成部98。过热保护控制部92、电流指令生成部93、三相/二相转换部94、电压指令生成部95、二相/三相转换部96、占空比变换部97以及PWM信号生成部98与实施方式1相同,因此省略说明。

[0106] 温度阈值设定部91A具有作为本申请特征的、基于冷却介质的状态来计算实施过热保护控制的温度阈值的功能。冷却介质的流量FW从流量传感器38被输入到温度阈值设定部91A。基于该冷却介质的流量FW来计算实施过热保护控制的温度阈值OT。计算出的温度阈值OT被输出到过热保护控制部92。温度阈值设定部91A的详情在后文中阐述。

[0107] 实施方式2所涉及的功率转换装置100F的特征点在于,对控制装置90A设置温度阈值设定部91A和过热保护控制部92,在温度阈值设定部91A中基于冷却介质的流量FW来设定温度阈值OT,在过热保护控制部92中基于温度检测值T1至T6与温度阈值OT的比较将d轴电流指令值和q轴电流指令值限制为规定的电流指令值。此外,实施方式2所涉及的功率转换装置100F的特征点在于,冷却介质的流量FW越大则温度阈值设定部91B将温度阈值OT设定得越高这一点。

### [0108] <温度阈值OT为固定值的情况>

这里,说明实施方式2所涉及的功率转换装置100F的特征、即基于冷却介质的流量FW来设定温度阈值OT的效果。说明将温度阈值OT设为固定值时的问题。具体而言,使用图20、21来说明在将温度阈值OT设为固定值的情况下、尽管根据冷却介质的状态处于半导体

开关元件的温度上升仍被允许的状态但还过度限制输出的情况。

[0109] 图20是对实施方式2所涉及的功率转换装置100F的所固定的温度阈值 $OT$ 与检测温度 $TD$ 的关系进行说明的第一图。图21是对所固定的温度阈值 $OT$ 与检测温度 $TD$ 的关系进行说明的第二图。

[0110] 冷却介质是水、油或LLC等液体。图20是示意性示出在冷却介质的流量较小的情况下、使功率转换装置100F从停止状态以恒定负载驱动时的半导体开关元件51至56的接合部温度 $TJ$ 与元件温度检测器71至76所得出的检测温度 $TD$ 的时序的图。图21是示意性示出在冷却介质的流量较大的情况下、使功率转换装置100F从停止状态以恒定负载驱动时的半导体开关元件51至56的温度与元件温度检测器71至76所得出的检测温度 $TD$ 的时序的图。

[0111] 另外,关于元件接合部温度 $TJ$ 和检测温度 $TD$ 的时序图,图20、21中示出未实施过热保护时的温度的时序图,以便于判定并示出冷却介质的流量的大小所引起的温度上升的差异。图20、21中,在曲线的起点,检测温度 $TD$ 、接合部温度 $TJ$ 均变为与冷却介质的温度 $TW$ 相等。

[0112] 具备在冷却半导体开关元件51至56等发热体的冷却器351B的功率转换装置100F,在冷却介质的流量较小的情况下,与冷却介质的流量较大的情况相比,冷却性能降低。因此,如图20所示,即使在实施半导体开关元件的损耗相同的驱动的情况下,与冷却介质的流量较大的情况相比,半导体开关元件51至56的温度上升也较为陡峭。

[0113] 与实施方式1中所说明的情况同样地,半导体开关元件51至56的检测温度 $TD$ 与半导体开关元件51至56的实质的接合部温度 $TJ$ 发生偏离。此外,在半导体开关元件51至56的检测温度 $TD$ 与测定对象的温度一致之前还存在时间延迟(响应延迟)。因此,在半导体开关元件51至56的温度上升较陡的情况下,与温度上升较缓的情况相比,如图20所示,半导体开关元件的实质的元件接合部温度 $TJ$ 与元件温度检测器71至76的检测温度 $TD$ 的偏离变大。

[0114] 因此,在冷却介质的流量较小的情况下,与流量较大的情况相比,半导体开关元件51至56的接合部温度 $TJ$ 到达动作极限温度 $OTJ$ 时的元件温度检测器71至76的检测温度 $TD$ 成为较低的值。需要设定开始此时的过热保护的溫度,以作为温度阈值 $OT$ 。

[0115] 在检测温度 $TD$ 超过规定的温度阈值 $OT$ 时通过减小功率转换装置100F的输出来防止半导体开关元件51至56的过热损坏。在将温度阈值 $OT$ 设为固定值的比较例中,需要与冷却介质的流量较小的状态(冷却性能较低的状态)的情况相匹配地设定温度阈值 $OT$ 。将半导体开关元件51至56的接合部温度 $TJ$ 到达动作极限温度 $OTJ$ 时的元件温度检测器71至76的检测温度 $TD$ 设定为温度阈值 $OT$ 。

[0116] 换言之,如图21所示,在冷却介质的流量较大的状态(冷却性能较高的状态)下,在半导体开关元件51至56的接合部温度 $TJ$ 尚未到达动作极限温度 $OTJ$ 而温度上升仍被允许的状态下,开始过热保护。元件温度检测器71至76的检测温度 $TD$ 超过温度阈值 $OT$ ,因此,成为过度实施过热保护的動作。

[0117] <将温度阈值 $OT$ 设为可变值的情况>

图22是对实施方式2所涉及的功率转换装置100F的冷却介质流量 $F$ 与可变地设定的温度阈值 $OT$ 的关系进行说明的图。功率转换装置100F中,构成为在温度阈值设定部91A中基于冷却介质的流量 $FW$ 来设定温度阈值 $OT$ 。具体而言,如图22所示,冷却介质的流量 $FW$ 越大则将温度阈值 $OT$ 设定得越高。

[0118] 以下,对实施方式2所涉及的功率变换装置100F的特征、即温度阈值设定部91A的动作进行说明。温度阈值设定部91A将来自流量传感器38的冷却介质的流量FW设为输入,并输出实施过热保护控制的温度阈值OT。

[0119] 温度阈值设定部91A预先具备相对于冷却介质的流量FW的温度阈值OT的阈值设定映射。为了防止半导体开关元件51至56的热损坏,相对于冷却介质的流量FW的温度阈值OT需要设定为即使在最严格的驱动条件下半导体开关元件51至56的温度也不超过动作极限温度OTJ。

[0120] 因此,在各个冷却介质的流量FW的各状态下、在半导体开关元件中的功率损耗为最大的驱动条件下驱动功率转换装置100F的情况下,决定相对于冷却介质的流量FW的温度阈值OT。将比半导体开关元件51至56的元件接合部温度TJ到达动作极限温度OTJ的时刻的元件温度检测器71至76的检测温度TD要低规定的余量的温度设定为温度阈值OT。

[0121] 这里,半导体开关元件的元件接合部温度TJ到达动作极限温度OTJ的时刻的元件温度检测器71至76的检测温度TD使用图22来说明。在冷却介质的流量较小的情况下,与流量较大的情况相比,温度阈值OT成为更低的值。因此,相对于冷却介质的流量FW的温度阈值OT的阈值设定映射如图22所示那样,以冷却介质的流量FW越大则温度阈值OT变得越高的趋势为特征来设定。

[0122] <效果的比较>

使用图23至图28来比较温度阈值OT为固定值的情况、以及将温度阈值OT设为可变值的情况。通过将温度阈值OT设为可变值,从而能可靠地防止半导体开关元件的热损坏,并能防止过度限制功率转换装置的输出的情况,对此进行说明。

[0123] 图23是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置100F的所固定的温度阈值OT的过热防止时的温度的推移的第一时序图。图24是示出基于所固定的温度阈值OT的过热防止时的温度的推移的第二时序图。

[0124] 图23、24是示意性示出应用了基于所固定的温度阈值OT的过热保护限制时的半导体开关元件51至56的接合部温度TJ和元件温度检测器71至76的检测温度TD的时序的图。图23是在冷却介质的流量较小的情况下使功率转换装置从停止状态以恒定的负载驱动时的时序图。图24是在冷却介质的流量较大的情况下使功率转换装置从停止状态以恒定的负载驱动时的时序图。图23、24中,在曲线的起点,检测温度TD、接合部温度TJ均变为与冷却介质的温度TW相等。

[0125] 图25是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置100F的可变地设定的温度阈值OT的过热防止时的温度的推移的第一时序图。图26是示出基于可变地设定的温度阈值OT的过热防止时的温度的推移的第二时序图。

[0126] 图25、26是示意性示出应用了基于可变地设定的温度阈值OT的过热保护限制时的半导体开关元件51至56的接合部温度TJ和元件温度检测器71至76的检测温度TD的时序的图。图25是在冷却介质的流量较小的情况下使功率转换装置100F从停止状态以恒定的负载驱动时的时序图。图26是在冷却介质的流量较大的情况下使功率转换装置100F从停止状态以恒定的负载驱动时的时序图。图25、26中,在曲线的起点,检测温度TD、接合部温度TJ均变为与冷却介质的温度TW相等。

[0127] 在应用基于所固定的温度阈值OT的过热保护限制的情况下,不论冷却介质的流量

如何,都以相同的温度阈值 $OT$ 来实施过热保护限制。因此,如图24所示,在冷却介质的流量较大的情况下,即使半导体开关元件51至56的接合部温度 $TJ$ 相对于动作极限温度 $OTJ$ 为足够低的温度,也成为过热保护限制进行动作的行为。

[0128] 与此相对地,在应用基于可变地设定的温度阈值 $OT$ 的过热保护限制的情况下,通过以冷却介质的流量 $FW$ 越大则变得越高的方式所设定的温度阈值 $OT$ 来实施过热保护限制。因此,如图26所示,即使在冷却介质的流量 $FW$ 较大的情况下,在半导体开关元件51至56的接合部温度 $TJ$ 为接近动作极限温度 $OTJ$ 的温度的状态下过热保护限制也动作。

[0129] 图27是示出基于实施方式2所涉及的功率转换装置100F的所固定的温度阈值 $OT$ 的过热防止时的冷却介质流量 $FW$ 与元件温度的关系的图。图28是示出基于可变地设定的温度阈值 $OT$ 的过热防止时的冷却介质流量 $FW$ 与元件温度的关系的图。

[0130] 图27、28示出相对于冷却介质的流量 $FW$ 的、过热保护限制的阈值 $OT$ 的设定、应用过热保护限制时的半导体开关元件51至56的实际受限制的最大接合部温度 $OTJC$ 、半导体开关元件51至56的动作极限温度 $OTJ$ 的关系。图27是示出基于所固定的温度阈值 $OT$ 的过热保护限制的图,图28是示出基于可变地设定的温度阈值 $OT$ 的过热保护限制的图。

[0131] 在基于所固定的温度阈值 $OT$ 的过热保护限制中,如图27所示,不论冷却介质的流量 $FW$ 如何,应用恒定的过热保护限制的温度阈值 $OT$ 。因此,在冷却介质的流量 $FW$ 较大的情况下,半导体开关元件51至56的实际受限制的最大接合部温度 $OTJC$ 相对于动作极限温度 $OTJ$ 成为较低的温度。换言之,在冷却介质的流量 $FW$ 较大的情况下,成为即使相对于动作极限温度 $OTJ$ 有余量也过度实施过热保护限制的行为。

[0132] 与此相对地,在基于可变地设定的温度阈值 $OT$ 的过热保护限制中,如图28所示,应用冷却介质的流量 $FW$ 越大则变得越高的过热保护限制的温度阈值 $OT$ 。因此,在冷却介质的流量 $FW$ 较大的情况下,半导体开关元件51至56的实际受限制的最大接合部温度 $OTJC$ 成为接近动作极限温度 $OTJ$ 的温度。换言之,即使在冷却介质的流量 $FW$ 较大的情况下,也成为在不过度实施过热保护限制的情况下防止超过半导体开关元件51至56的动作极限温度 $OTJ$ 的行为。

[0133] 如上所述,作为实施方式2所涉及的功率转换装置100F的特征,能构成为基于冷却介质的流量来变更并设定温度阈值 $OT$ ,并在半导体开关元件51至56的检测温度 $TD$ 比该温度阈值 $OT$ 要高的情况下限制功率转换装置100F的输出。由此,与基于所固定的温度阈值 $OT$ 的半导体开关元件的过热保护方式相比,能更恰当地判定半导体开关元件51至56的过热状态,可靠地防止半导体开关元件51至56的热损坏,并抑制过度限制功率转换装置100F的输出。

[0134] 另外,实施方式2所涉及的功率转换装置100F构成为具备流量传感器38来作为冷却介质状态检测单元。然而,功率转换装置100F不一定需要具备流量传感器38。例如,可以构成为从上位系统(未图示)等外部的系统将冷却介质的流量信息通过通信被输入到功率转换装置从而获取冷却介质的流量 $FW$ 。

[0135] 实施方式2所涉及的功率转换装置100F的特征在于,基于冷却介质的流量 $FW$ 来设定过热保护限制的温度阈值 $OT$ 。根据搭载功率转换装置100F的系统,也存在间歇驱动水泵353的系统。在这样的系统中,冷却介质的流量 $FW$ 也间歇地反复增减。在这样的系统中,可以采用如下方式:作为冷却介质的流量 $FW$ ,基于流量增减的冷却介质的较小流量来设定过热

保护限制的温度阈值OT。由此,能可靠地防止半导体开关元件的热损坏。

[0136] 另外,水泵353间歇驱动时的过热保护限制的温度阈值OT的设定方式不限于此。例如,也能采用基于流量增减的冷却介质的平均流量来设定过热保护限制的温度阈值OT的方式。由此,能更恰当地抑制过度限制功率转换装置100F的输出情况。

### [0137] 3.实施方式3

图29是实施方式3所涉及的功率转换装置100G的结构图。图30是实施方式3所涉及的功率转换装置100G的控制装置90B的功能框图。图31是说明实施方式3所涉及的功率转换装置100G的温度阈值OT的设定方法的图。

[0138] 实施方式3所涉及的功率转换装置100G在冷却器351C中具备水温传感器36和流量传感器38这两者来作为冷却介质状态检测单元。控制装置90B输入由水温传感器36检测出的冷却介质的温度TW和由流量传感器38检测出的冷却介质的流量FW。然后,控制装置90B的温度阈值设定部91B基于冷却介质的温度TW和流量FW来设定温度阈值OT。

[0139] 温度阈值设定部91B的特征在于,冷却介质的温度TW越大则将温度阈值OT设定得越高,冷却介质的流量FW越大则将温度阈值OT设定得越高。温度阈值设定部91B获取冷却介质的温度TW和流量FW。利用后述的方法来计算该动作条件下的半导体开关元件51至56的接合部温度TJ与元件温度检测器71至76的检测温度TD的温度偏离指标ITGAP。基于温度偏离指标ITGAP来设定温度阈值OT。然后,冷却介质的温度TW越大则将温度阈值OT设定得越高,冷却介质的流量FW越大则将温度阈值OT设定得越高。

[0140] 温度阈值设定部91B根据半导体开关元件51至56的动作极限温度OTJ与冷却介质的温度TW之差来计算冷却介质的允许温度上升量 $\Delta T$ 。即,计算 $\Delta T$ ,以作为 $\Delta T = OTJ - TW$ 。

[0141] 如实施方式1中所说明的那样,冷却介质的温度TW越大、即该允许温度上升量 $\Delta T$ 越小,则在半导体开关元件51至56达到过热状态的情况下,半导体开关元件51至56的接合部温度TJ与元件温度检测器71至76的检测温度TD的温度偏移量TGAP变得越小。作为 $TGAP = TJ - TD$ ,能计算TGAP。

[0142] 此外,如实施方式2中所说明的那样,冷却介质的流量FW越大,则在半导体开关元件51至56达到过热状态的情况下,半导体开关元件51至56的接合部温度TJ与元件温度检测器71至76的检测温度TD的温度偏移量TGAP变得越小。

[0143] 该温度偏移量TGAP越小,则温度阈值OT能设定得越高。即,冷却介质的允许温度上升量 $\Delta T$ 越小、冷却介质的流量FW越大,则温度阈值OT能设定得越高。

[0144] 实施方式3中,将允许温度上升量 $\Delta T$ 除以冷却介质的流量FW来计算温度偏离指标ITGAP。即,作为 $ITGAP = \Delta T / FW$ ,计算ITGAP。如图31所示,该温度偏离指标ITGAP越小,则将温度阈值OT设定得越高。

[0145] 由此,能基于冷却介质的温度TW和流量FW来设定温度阈值OT。冷却介质的温度TW越大则将温度阈值OT设定得越高,冷却介质的流量FW越大则将温度阈值OT设定得越高。

[0146] 另外,实施方式3所涉及的功率转换装置100G中,构成为将允许温度上升量 $\Delta T$ 除以冷却介质的流量FW来计算温度偏离指标ITGAP,该温度偏离指标ITGAP越小,则将温度阈值OT设定得越高。然而,可以构成为预先具备与冷却介质的温度TW和冷却介质的流量FW的组合相对应的温度阈值OT的信息以作为三维映射。该三维映射中,设定冷却介质的温度TW越大则温度阈值OT变得越高、冷却介质的流量FW越大则温度阈值OT变得越高的值。

[0147] 根据实施方式3所涉及的功率转换装置100G,通过获取冷却介质的温度TW和流量FW,从而能更准确地实施半导体开关元件51至56的过热防止。由此,能提供一种高效的功率转换装置100G,能够更恰当地防止半导体开关元件51至56的过热,并且抑制过度限制功率转换装置100G的输出的情况。

[0148] 上述各实施方式所涉及的功率转换装置中,作为电流的限制方法,构成为对于d轴电流指令值 $I_d^*$ 、q轴电流指令值 $I_q^*$ 限制电流指令值。然而,如果是等效地限制电流指令的方法,则限制电流的方法不限于此。

[0149] 例如,也可以是限制从上位系统(未图示)输入的指令的方法。更具体而言,对于转矩指令值 $Trq^*$ ,可以通过限制为规定的转矩指令值来等效地降低电流指令值。此外,也可以通过限制为对转矩指令值 $Trq^*$ 乘以比规定的1要小的比例而得的指令值,来等效地降低电流指令值。

[0150] 此外,上述实施方式所涉及的功率转换装置中假设并记载了从直流电向交流电转换的逆变器,但功率转换装置的种类不限于此。也可以是具备半导体开关元件且转换功率的输出形式的功率转换装置。例如,也可以是将交流电向直流电转换的AC/DC转换器、使直流电的电压和电流的电平变化并输出的DC/DC转换器。

[0151] 虽然本申请记载了各种示例性实施方式和实施例,但是在一个或多个实施方式中记载的各种特征、方式和功能不限于特定实施方式的应用,可以单独地或以各种组合来应用于实施方式。

由此,可以认为未例示的无数变形例也包含在本申请所公开的技术范围内。例如,设为包括对至少一个构成要素进行变形、追加或省略的情况,以及提取至少一个构成要素并与其他实施方式的构成要素进行组合的情况。

[0152] 以下,将本公开的各方式作为附记汇总记载。

[0153] (附记1)

功率转换装置包括:开关元件,该开关元件使电流通电、切断;

元件温度检测器,该元件温度检测器检测所述开关元件的温度;

冷却器,该冷却器对所述开关元件进行冷却;

冷却介质状态检测器,该冷却介质状态检测器检测通过所述冷却器的冷却介质的状态;以及

控制装置,该控制装置控制所述开关元件来进行功率转换,并且进行所述开关元件的过热防止控制,其中,

所述控制装置基于所述冷却介质状态检测器检测出的所述冷却介质的状态来决定用于判定是否需要过热防止控制的温度阈值,在所述元件温度检测器检测出的温度比所述温度阈值要高的情况下限制所述开关元件的动作来进行过热防止控制。

(附记2)

如附记1所述的功率转换装置中,所述冷却介质状态检测器是检测所述冷却介质的温度的冷却介质温度检测器。

(附记3)

如附记1所述的功率转换装置中,所述冷却介质状态检测器是检测所述冷却器的温度的冷却器温度检测器。

(附记4)

如附记2或3所述的功率转换装置中,随着所述冷却介质状态检测器检测出的温度变高,所述控制装置将所述温度阈值设定得较高。

(附记5)

如附记1至4中任一项所述的功率转换装置中,在所述元件温度检测器检测出的温度比所述温度阈值要高的情况下,所述控制装置随着由所述元件温度检测器检测出的温度与所述温度阈值之差变大使限制所述开关元件的动作的限制率提高。

(附记6)

如附记1所述的功率转换装置中,所述冷却介质状态检测器是检测所述冷却介质的流量的冷却介质流量检测器。

(附记7)

如附记6所述的功率转换装置中,随着所述冷却介质流量检测器检测出的冷却介质的流量变多,所述控制装置将所述温度阈值设定得较高。

(附记8)

如附记1所述的功率转换装置中,作为所述冷却介质状态检测器,具备检测所述冷却介质的温度的冷却介质温度检测器、以及检测所述冷却介质的流量的冷却介质流量检测器,

所述控制装置基于所述冷却介质温度检测器检测出的所述冷却介质的温度、和所述冷却介质流量检测器检测出的所述冷却介质的流量,来决定所述温度阈值。

(附记9)

如附记8所述的功率转换装置中,所述控制装置随着所述冷却介质流量检测器检测出的冷却介质的流量变多将所述温度阈值设定得较高,并且随着所述冷却介质状态检测器检测出的温度变高将所述温度阈值设定得较高。

(附记10)

如附记1至9中任一项所述的功率转换装置中,所述开关元件并列地设有多个,所述元件温度检测器的数量比所述开关元件的数量要少。

(附记11)

如附记10所述的功率转换装置中,其包括:多相臂,该多相臂分别设有连接到直流电源的正极侧的正极侧开关元件、连接到所述直流电源的负极侧的负极侧开关元件、以及将所述正极侧开关元件和所述负极侧开关元件串联连接且将电流提供到外部的的外部连接点;

正极侧元件温度检测器,该正极侧元件温度检测器检测所述正极侧开关元件的温度;以及

负极侧元件温度检测器,该负极侧元件温度检测器检测所述负极侧开关元件的温度,

所述控制装置在所述正极侧元件温度检测器或所述负极侧元件温度检测器检测出的温度比所述温度阈值要大的情况下限制所述开关元件的动作。

(附记12)

如附记1至11中任一项所述的功率转换装置中,所述元件温度检测器是热敏电阻。

(附记13)

如附记1至12中任一项所述的功率转换装置中,所述开关元件由宽带隙半导体所形成。

标号说明

[0154] 12直流电源

36水温传感器

37冷却器温度传感器

38流量传感器

51、51a、51b、52、52a、52b、53、53a、53b、54、54a、54b、55、55a、55b、56、56a、56b半导体开关元件

71、72、73、74、75、76元件温度检测器

90、90A、90B控制装置

100、100A、100B、100C、100D、100E、100F、100G功率转换装置

351、351A、351B冷却器。



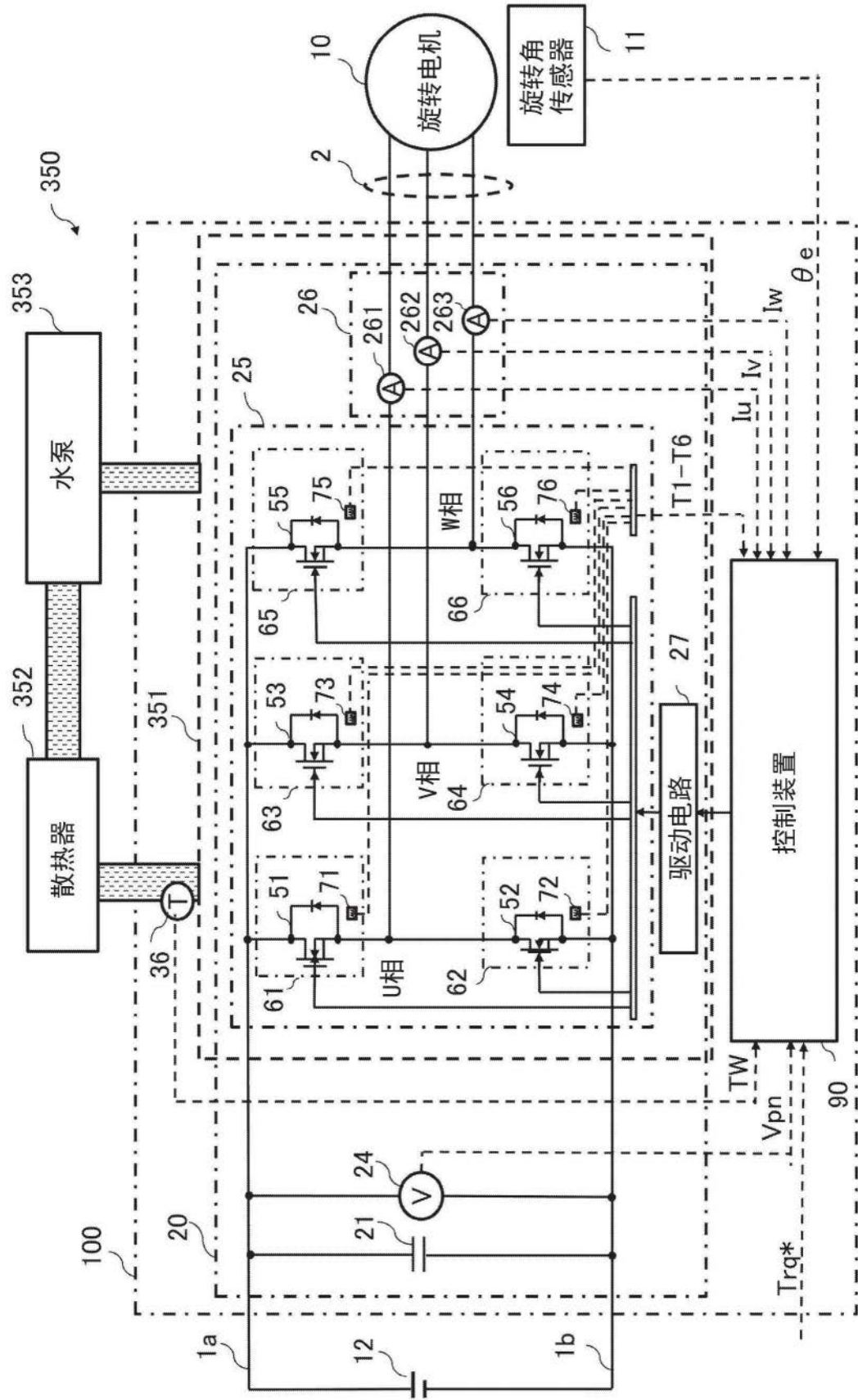


图1

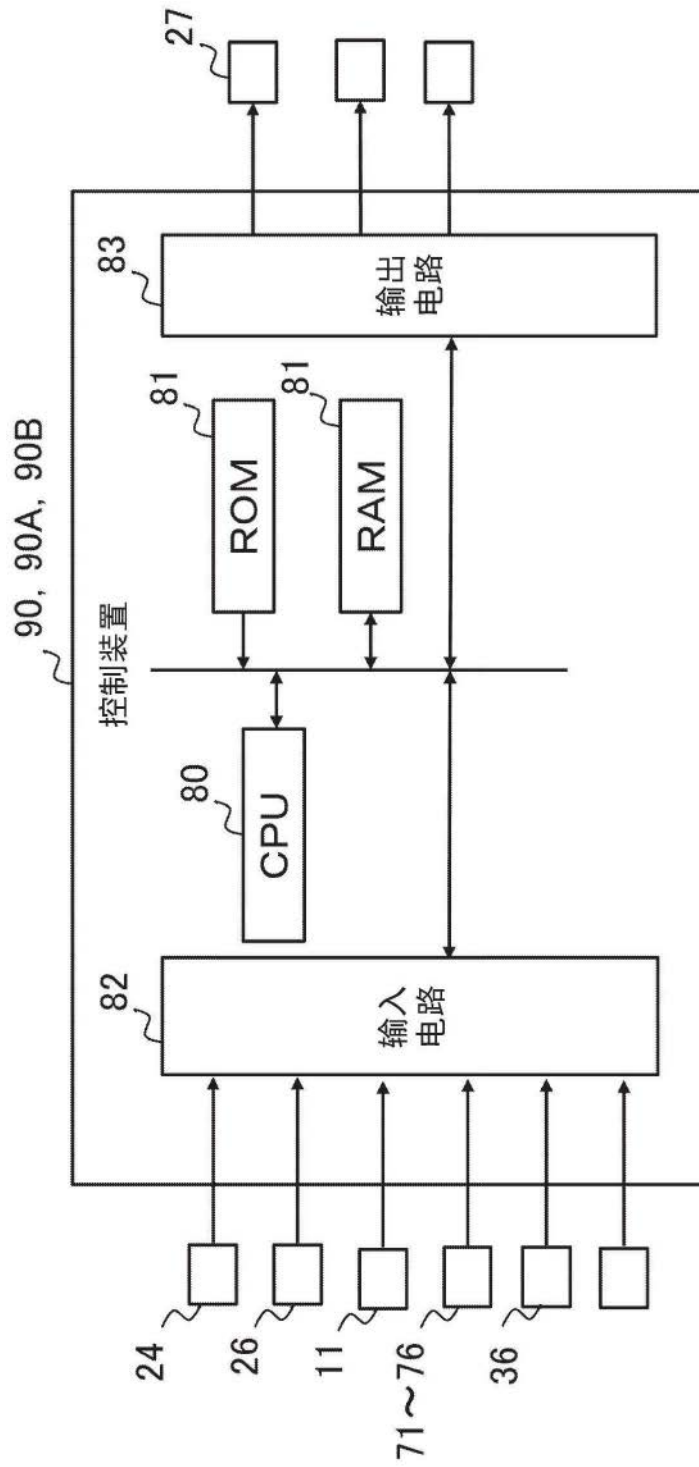


图2

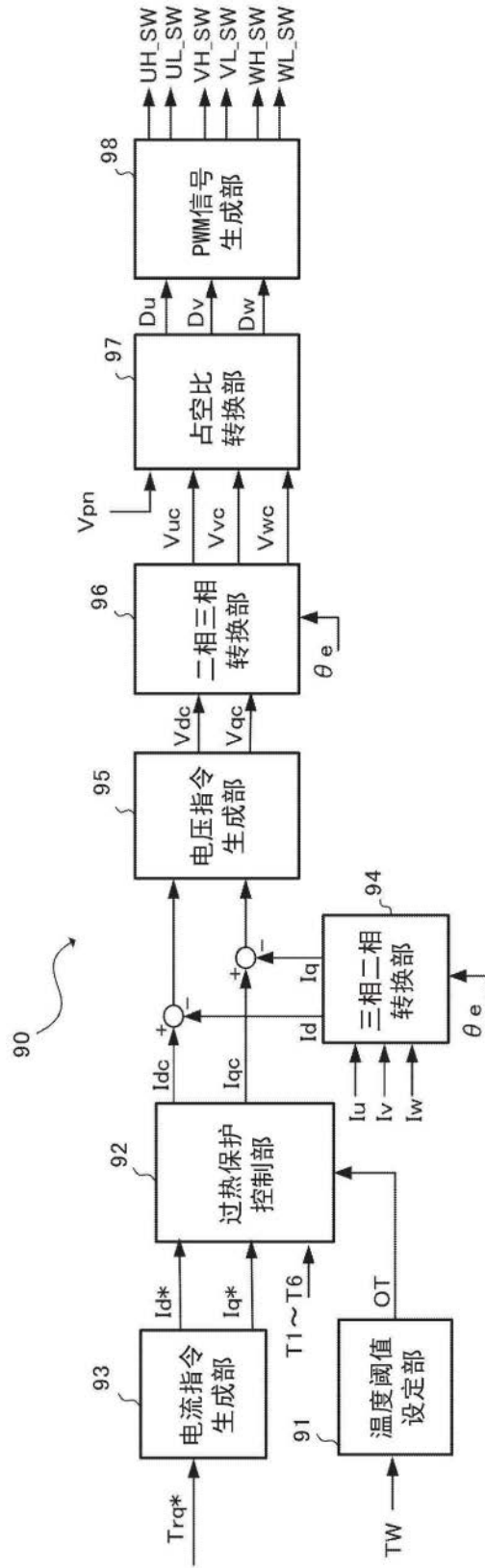


图3

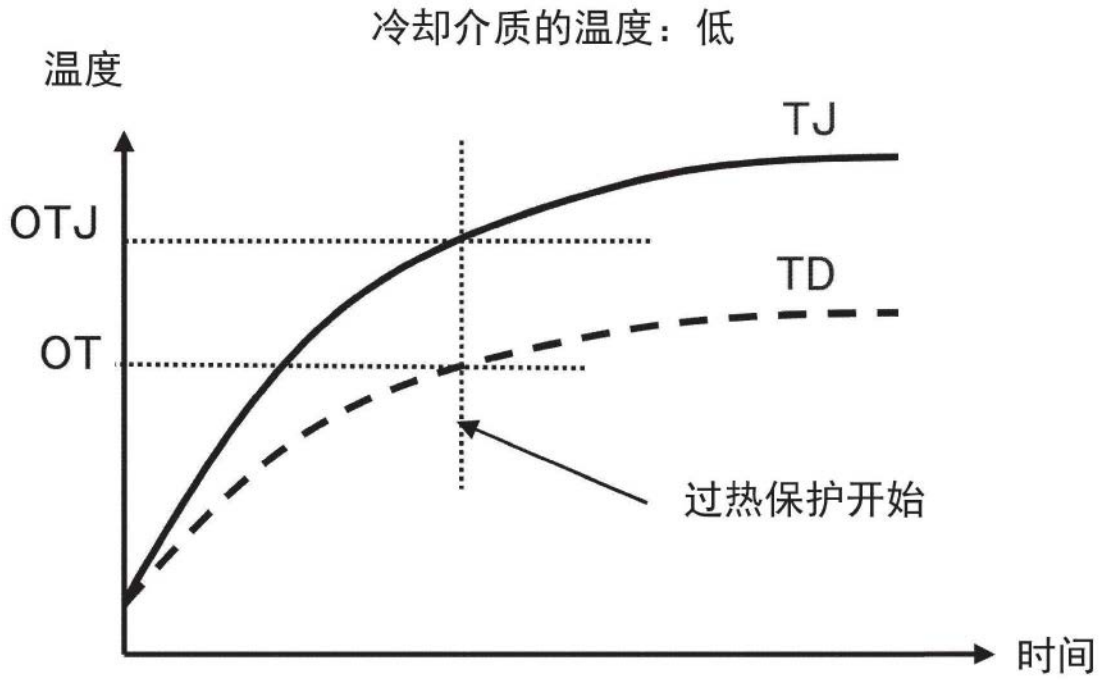


图4

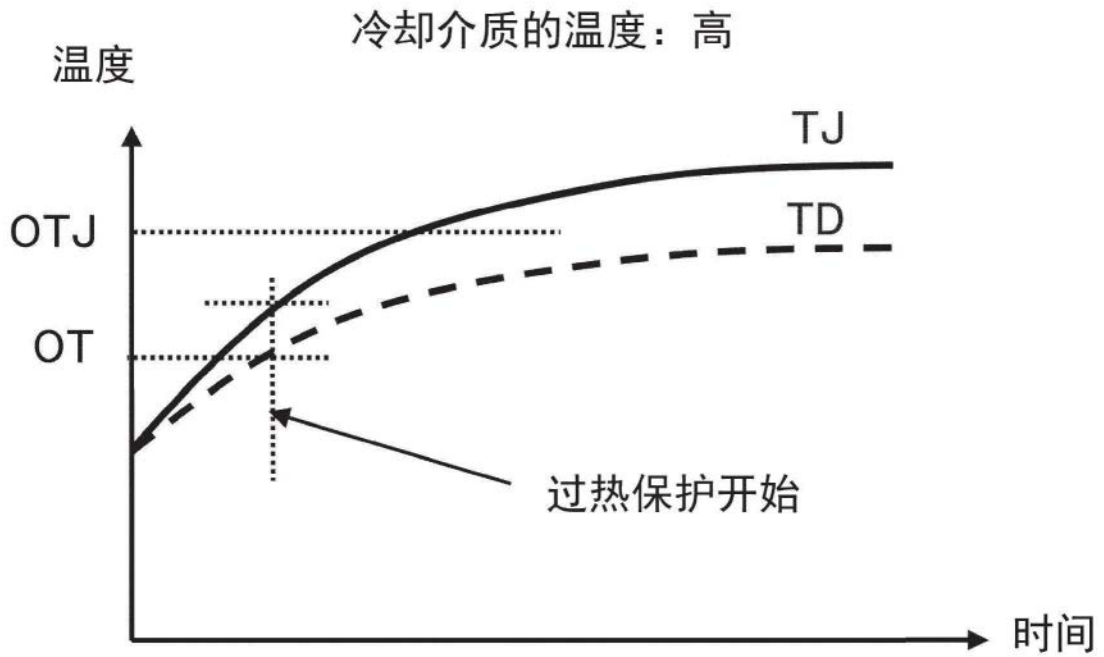


图5

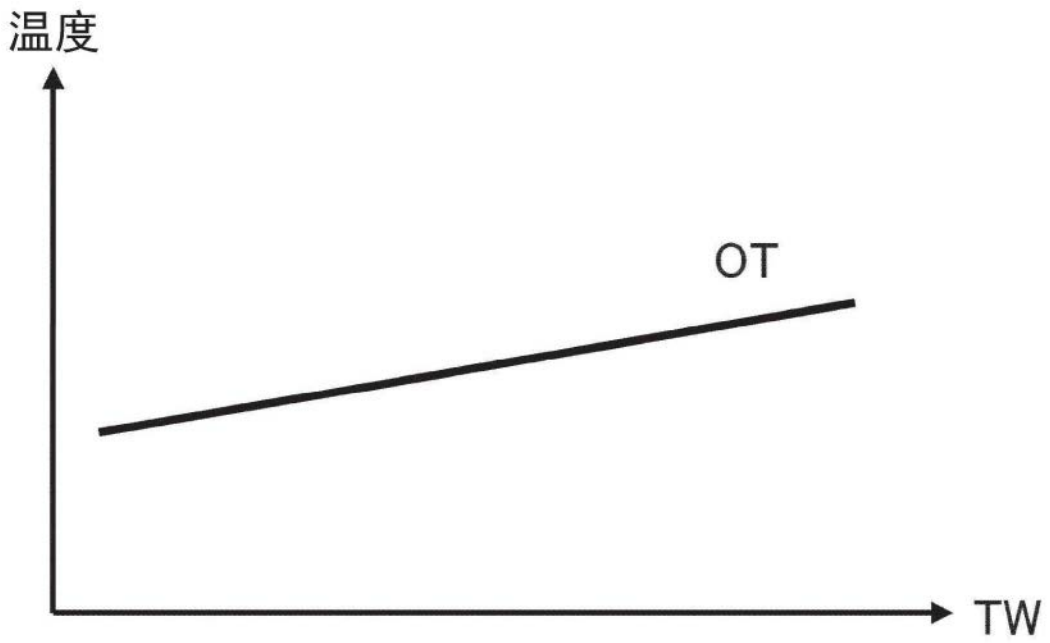


图6

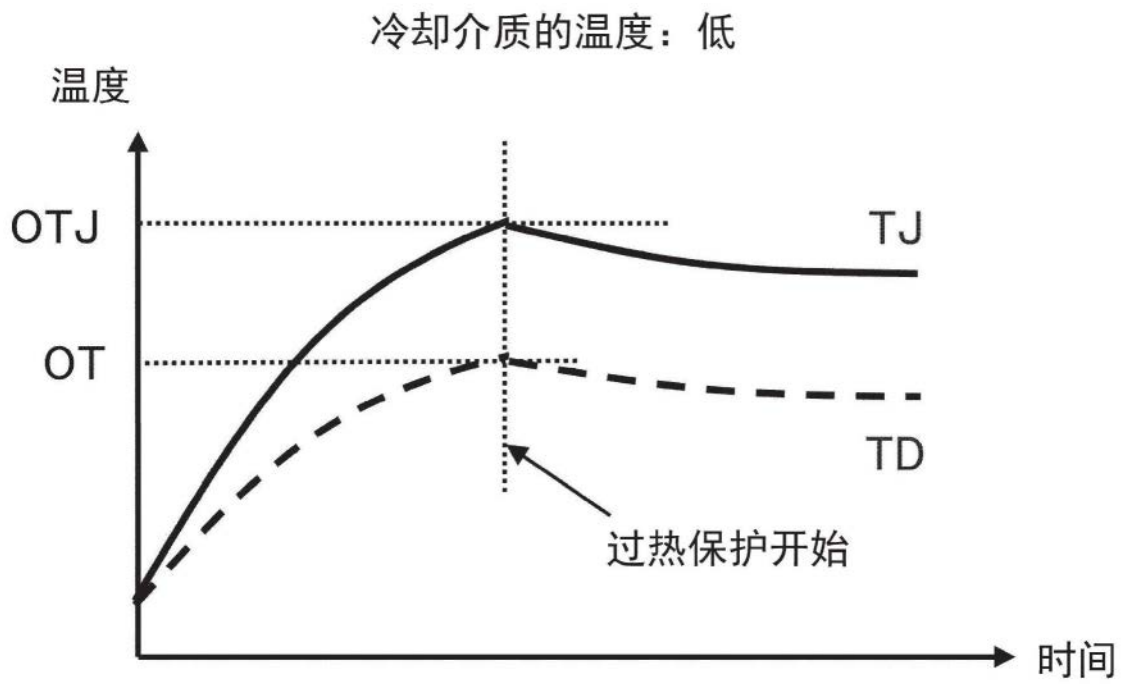


图7

冷却介质的温度：高

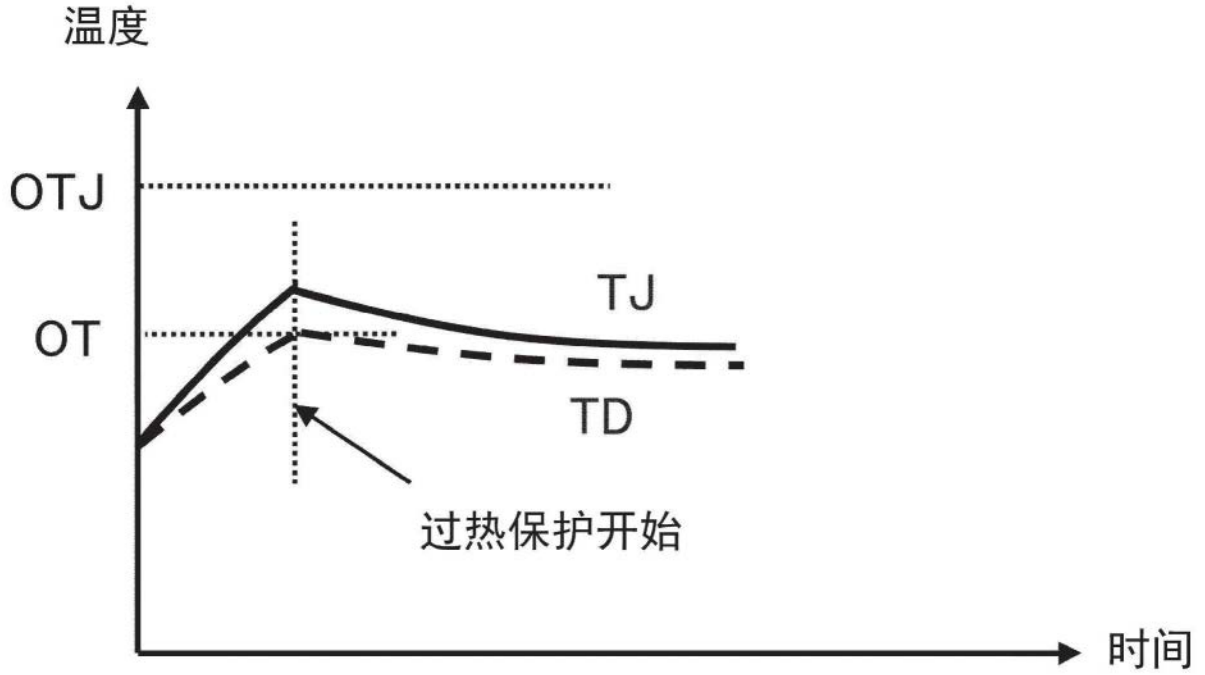


图8

冷却介质的温度：低

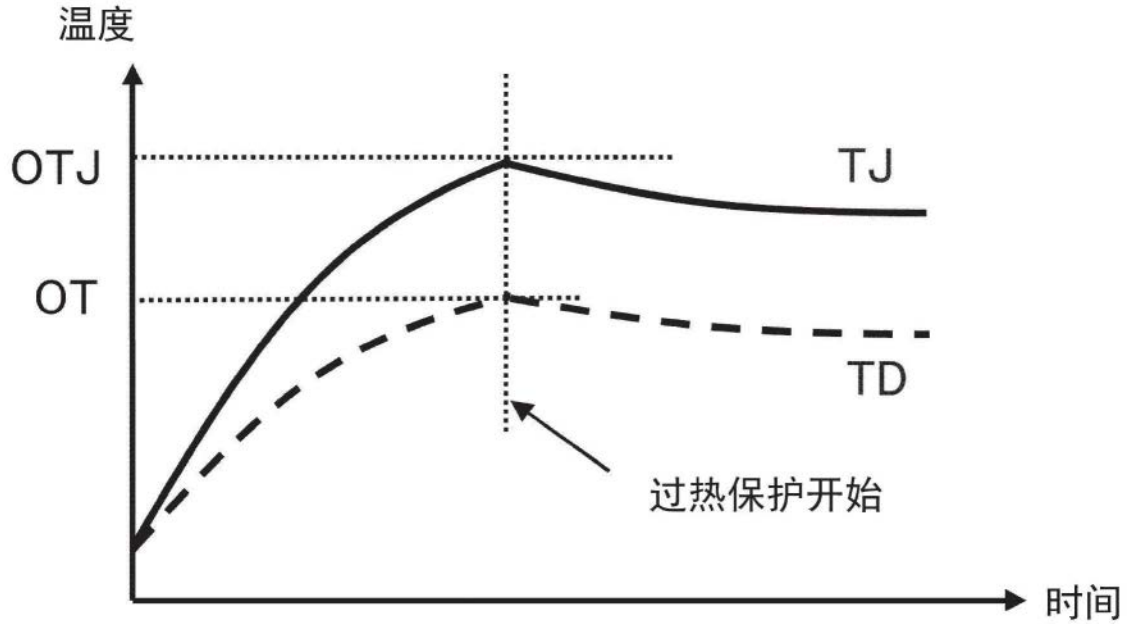


图9

冷却介质的温度：高

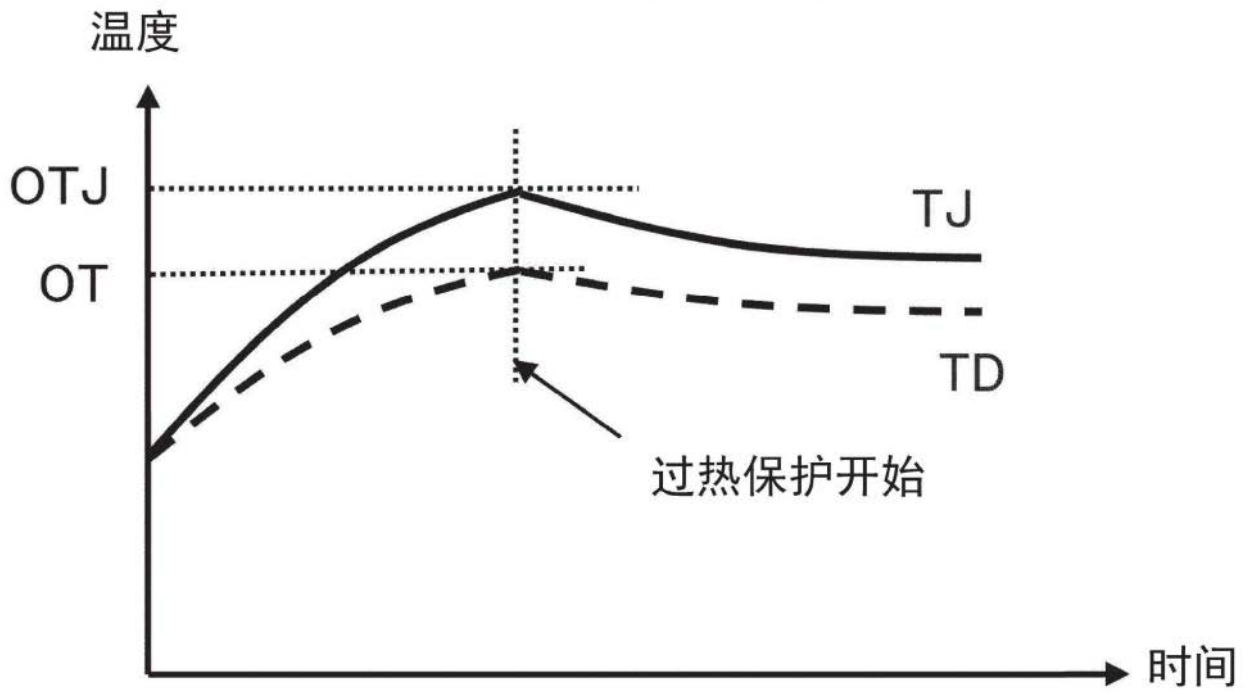


图10

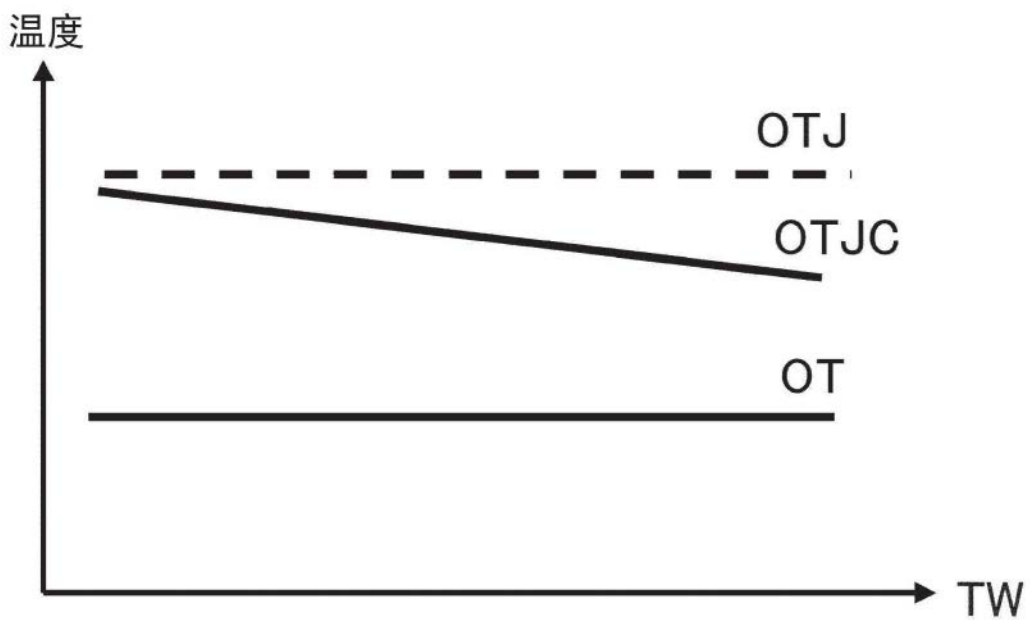


图11

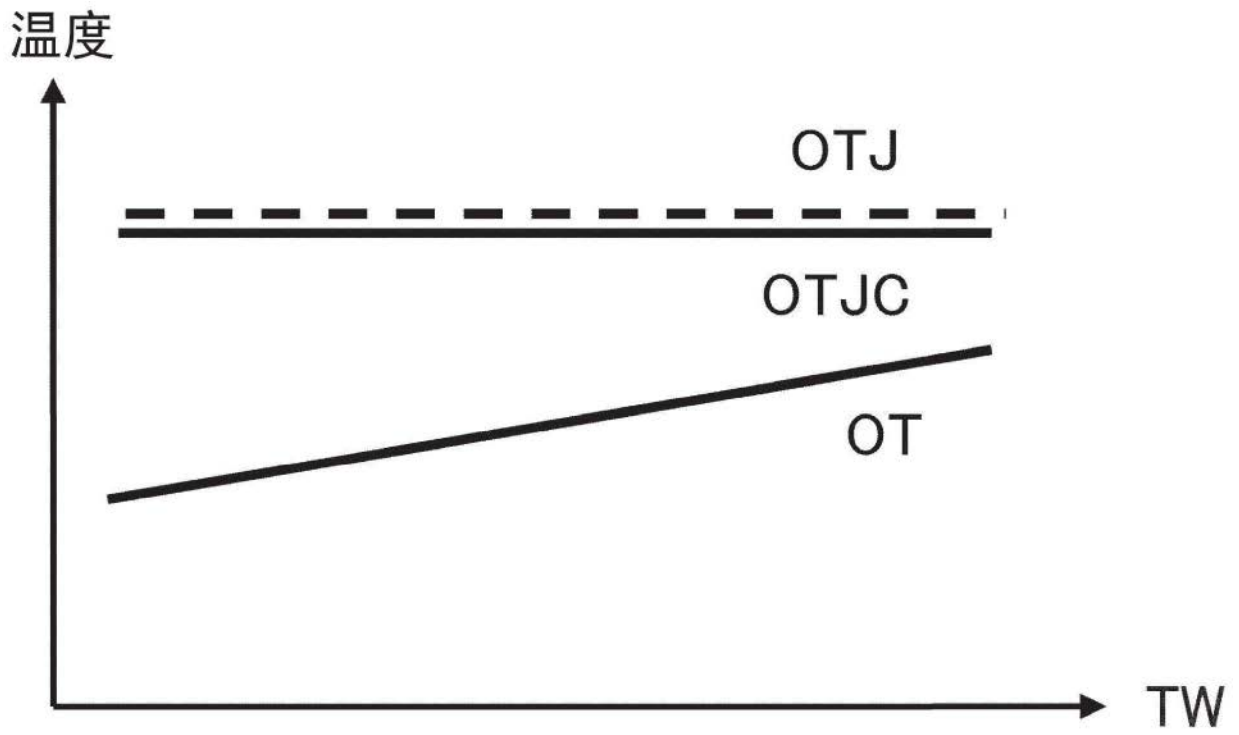


图12





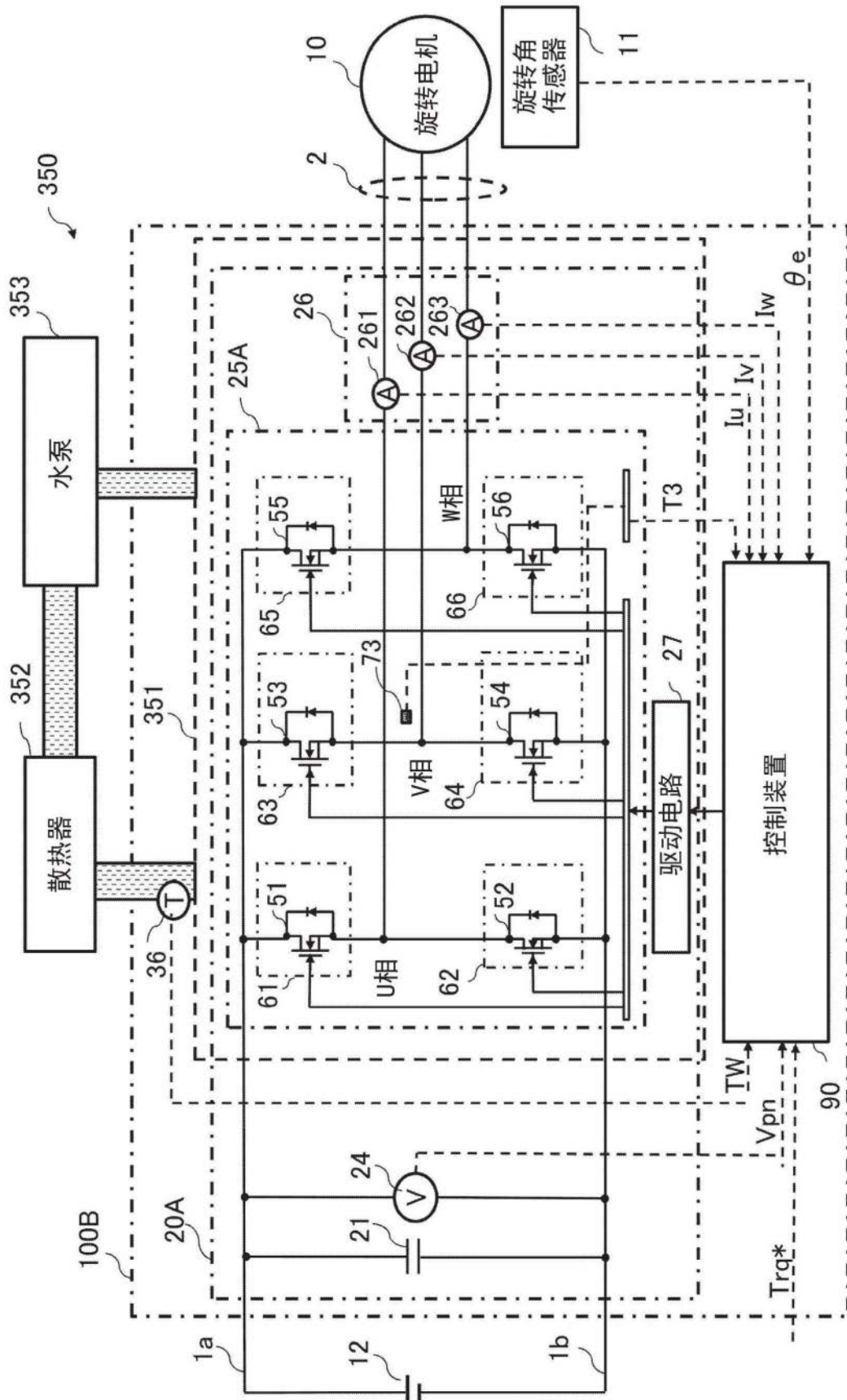


图14

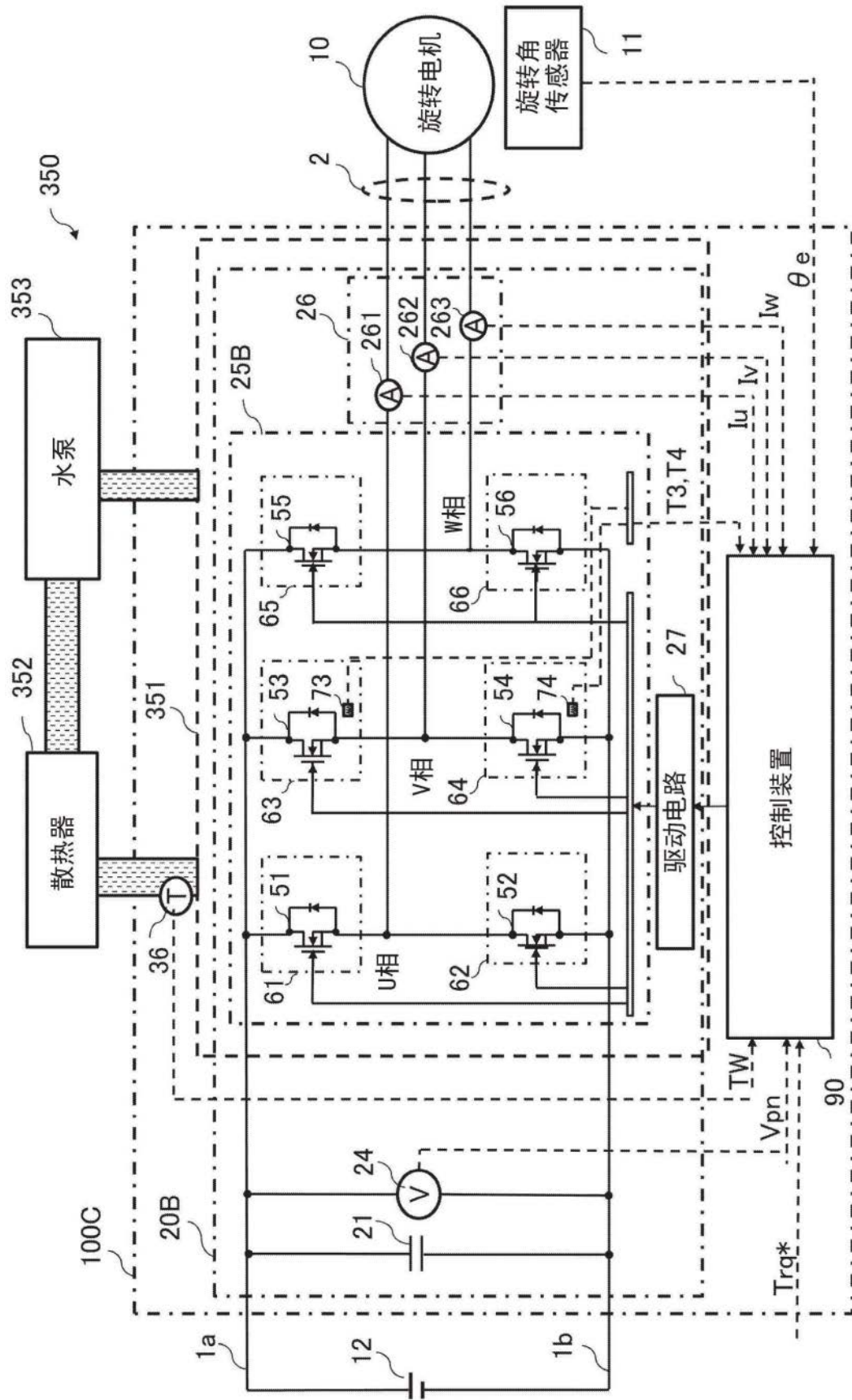


图15

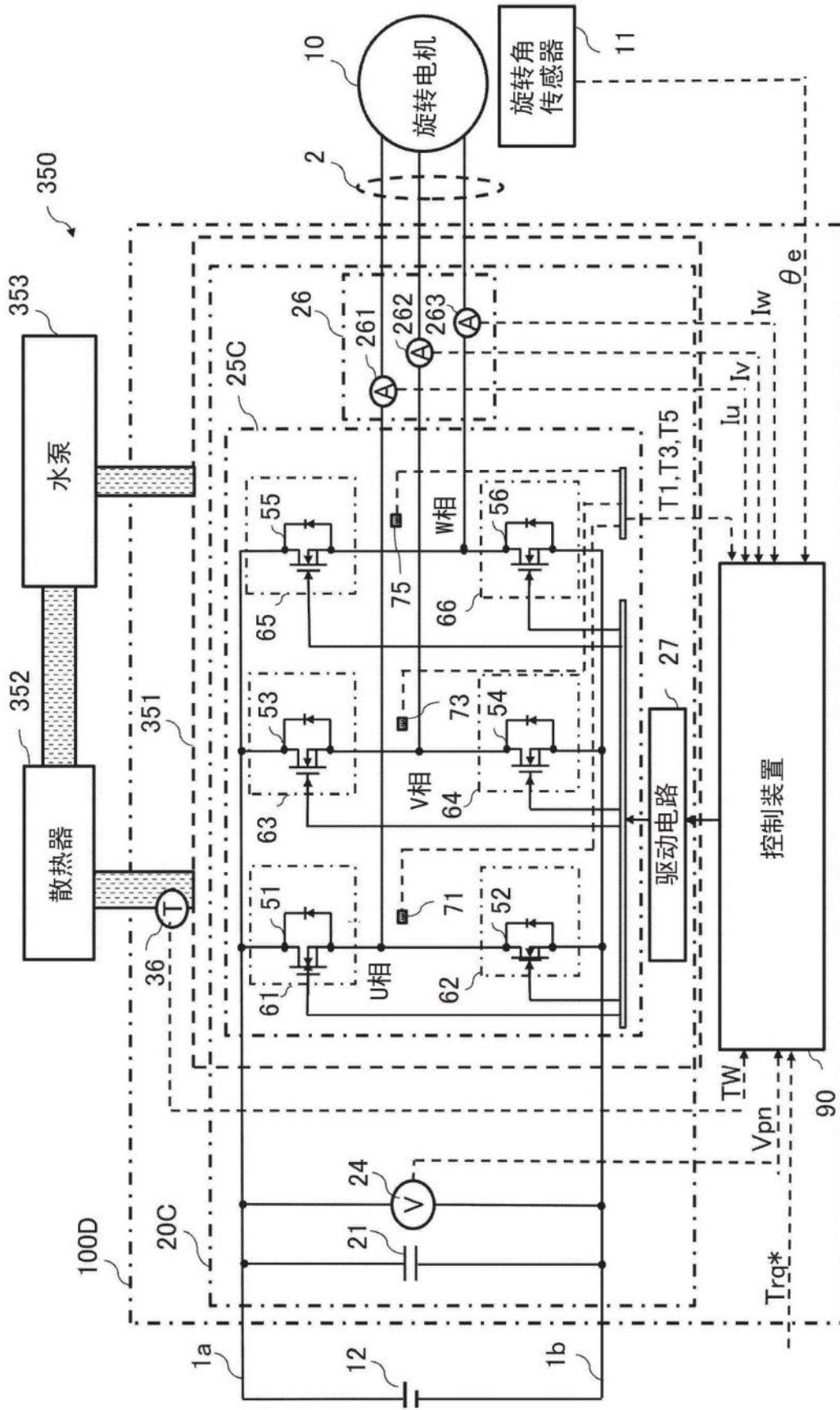


图16

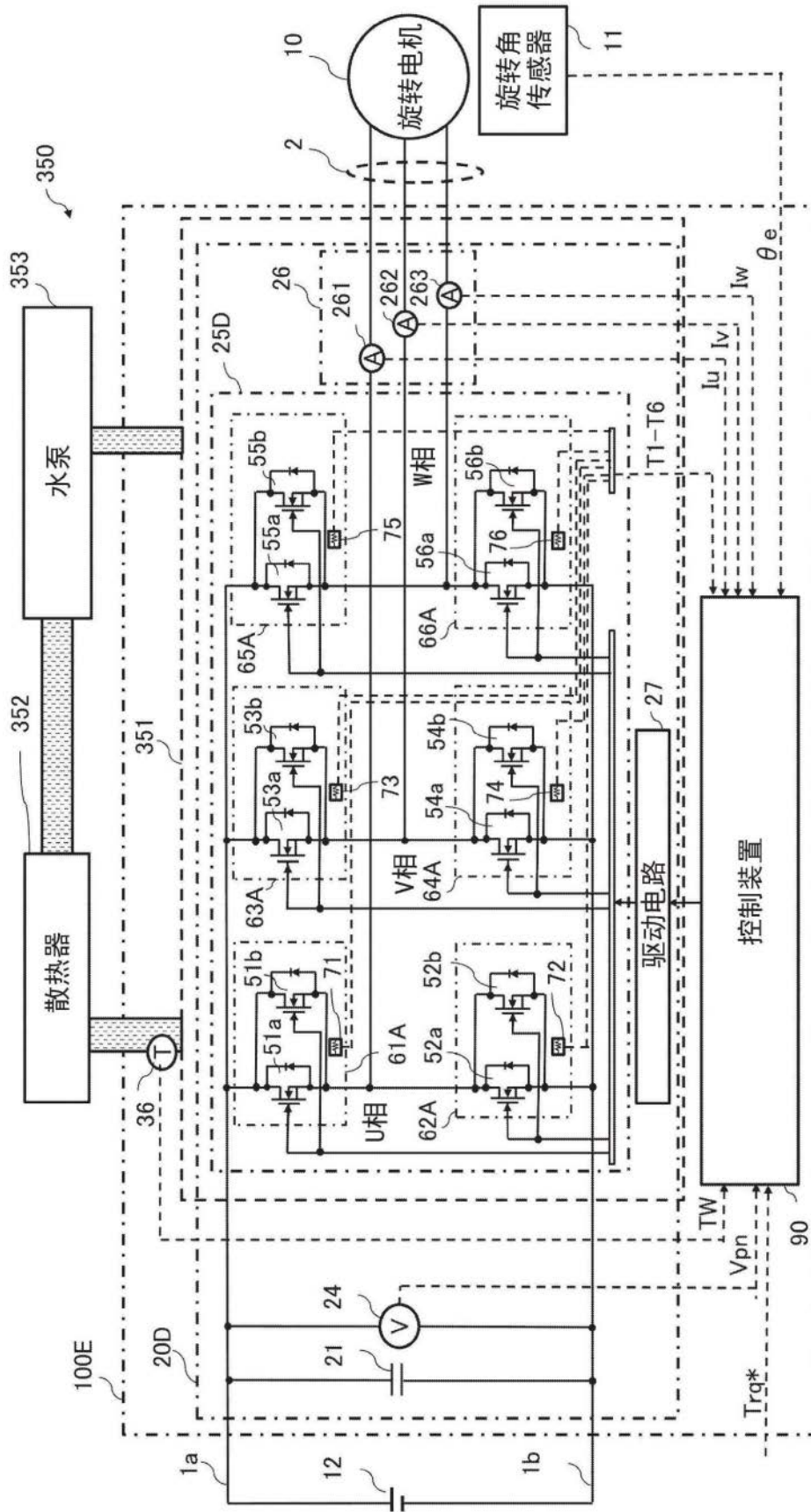


图17

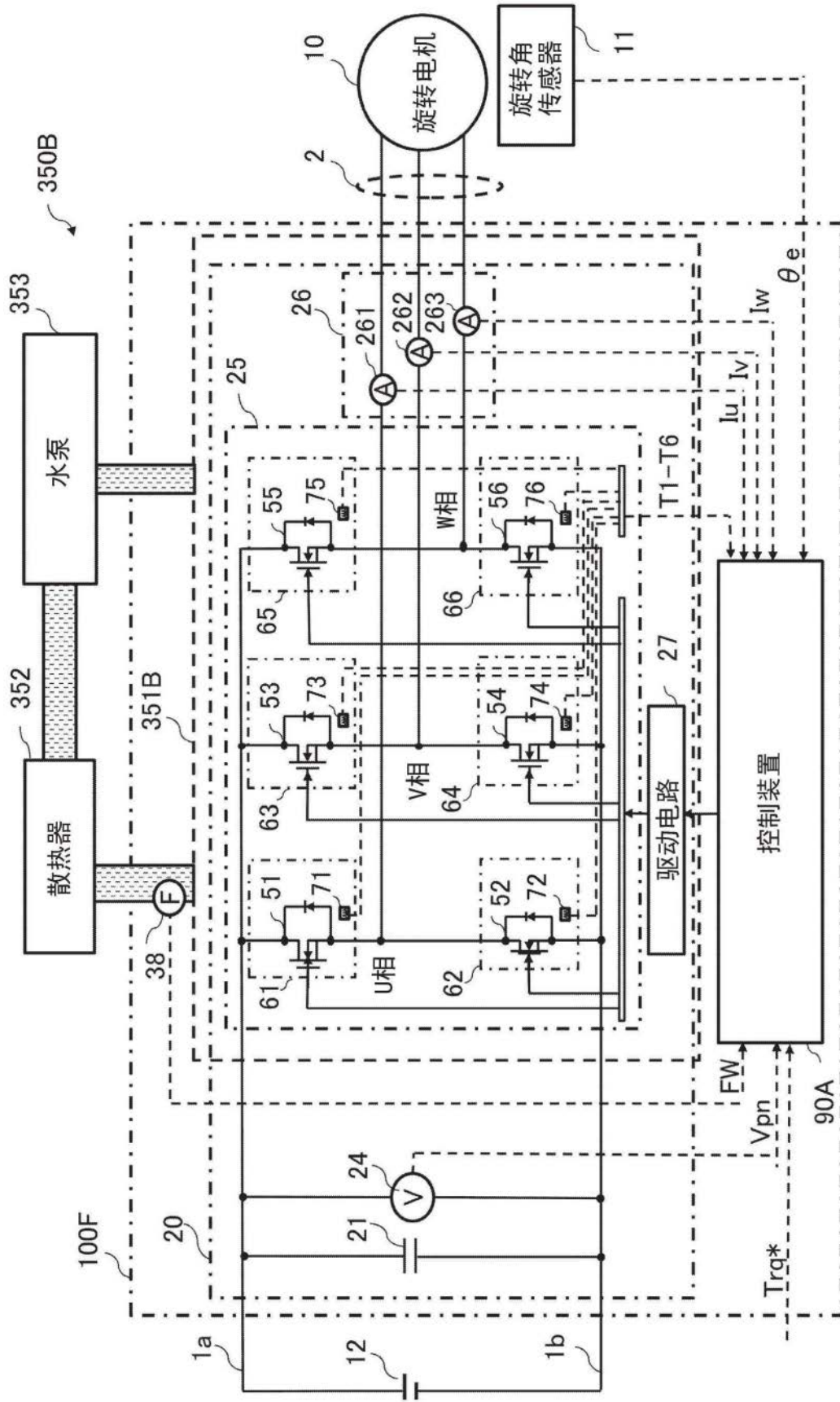


图18

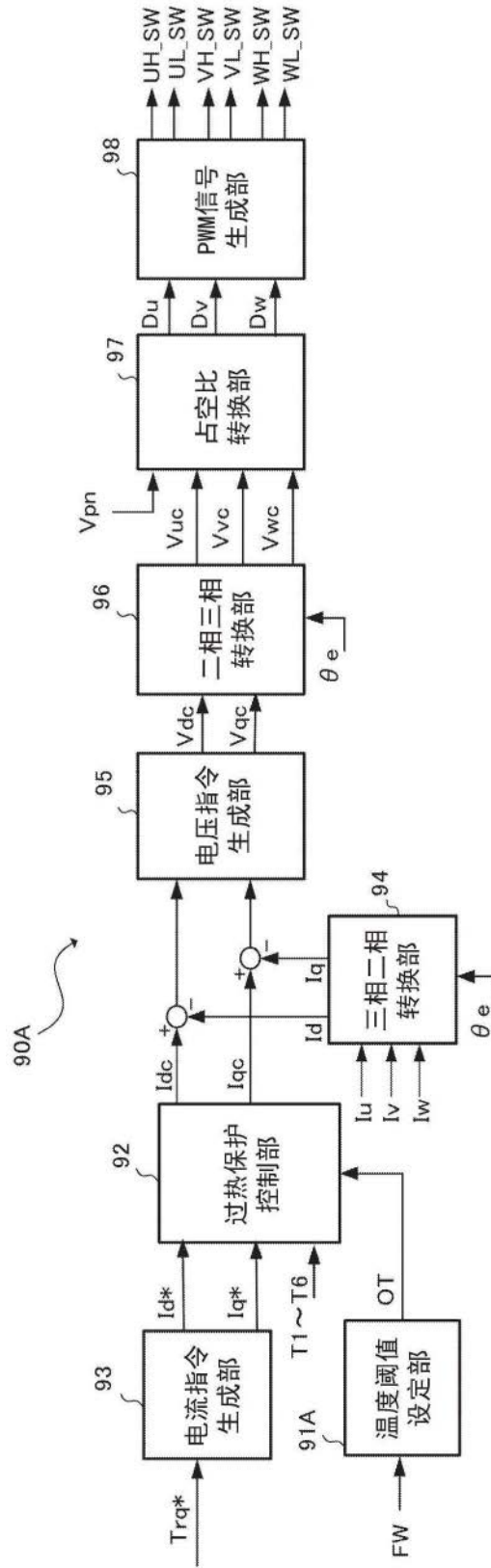


图19

冷却介质的流量：小

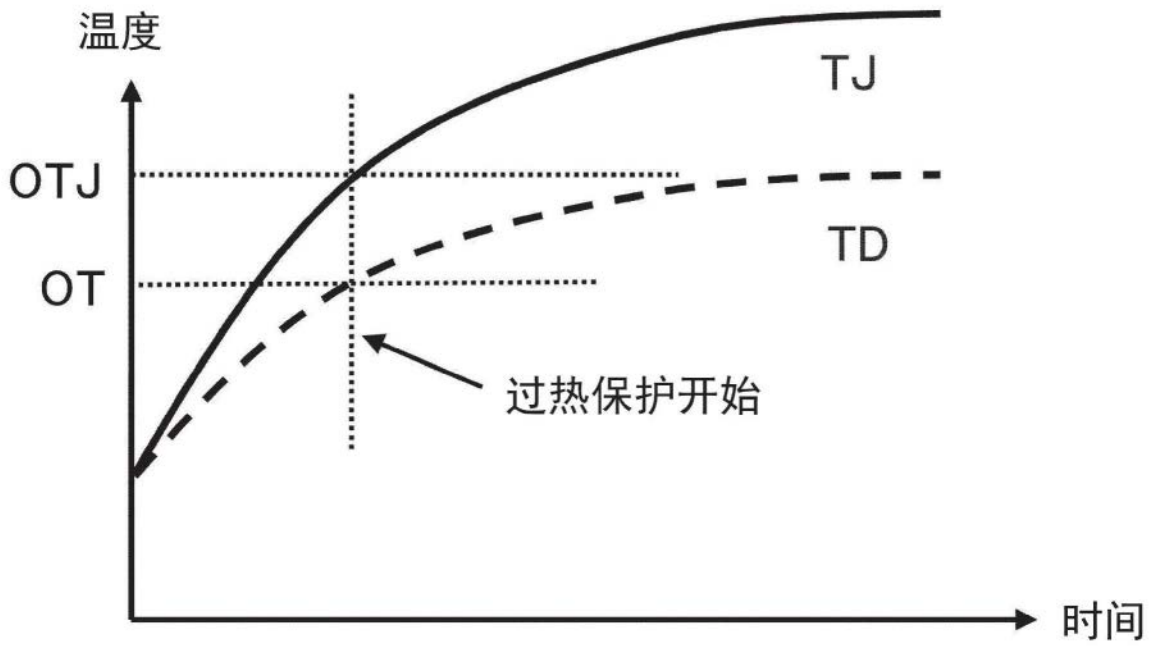


图20

冷却介质的流量：大

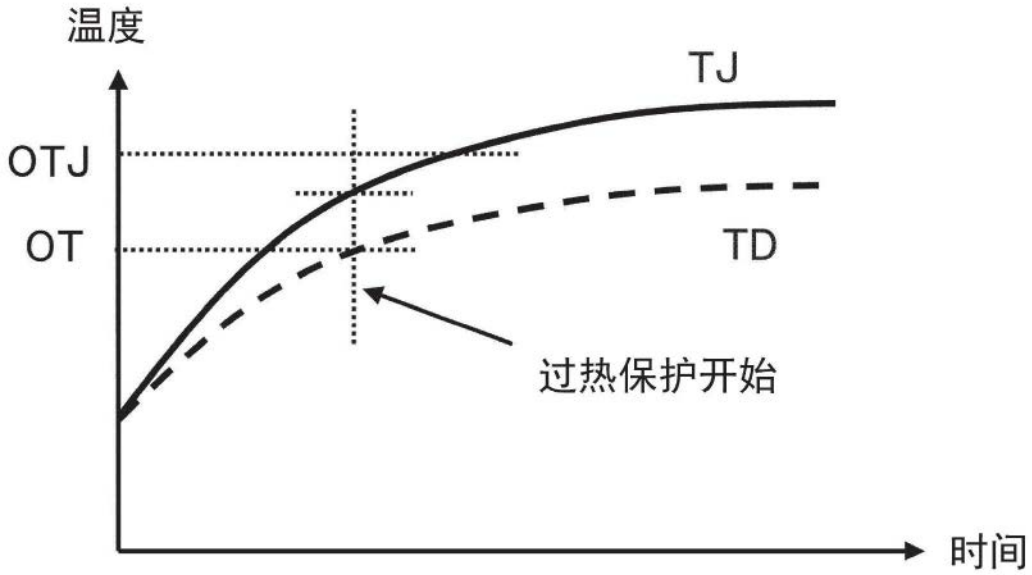


图21



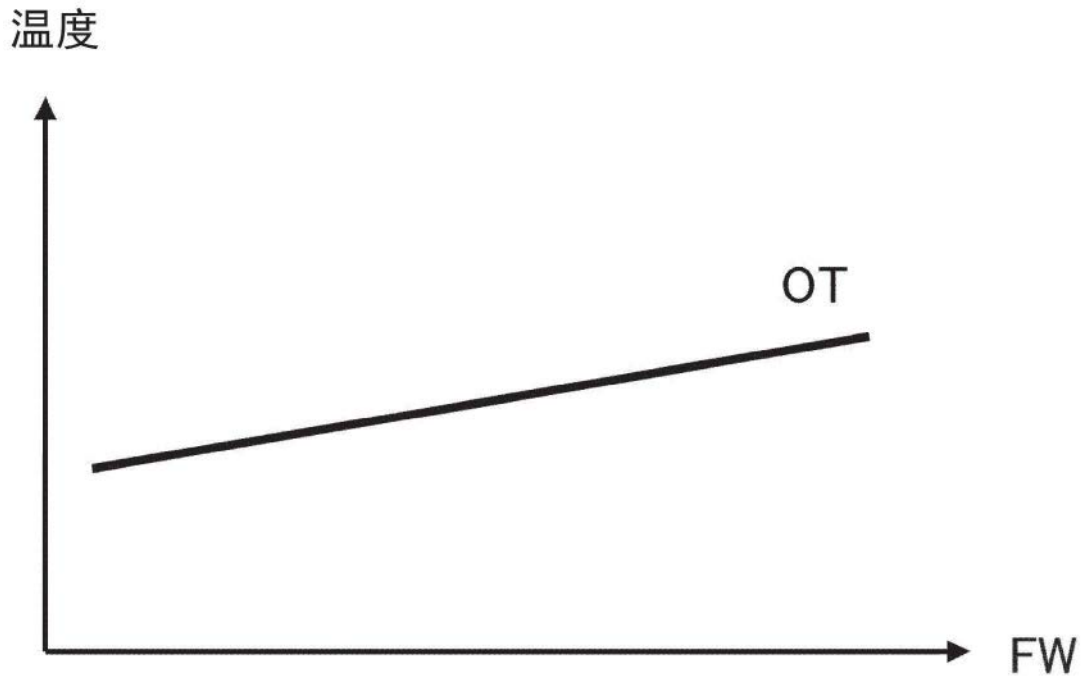


图22

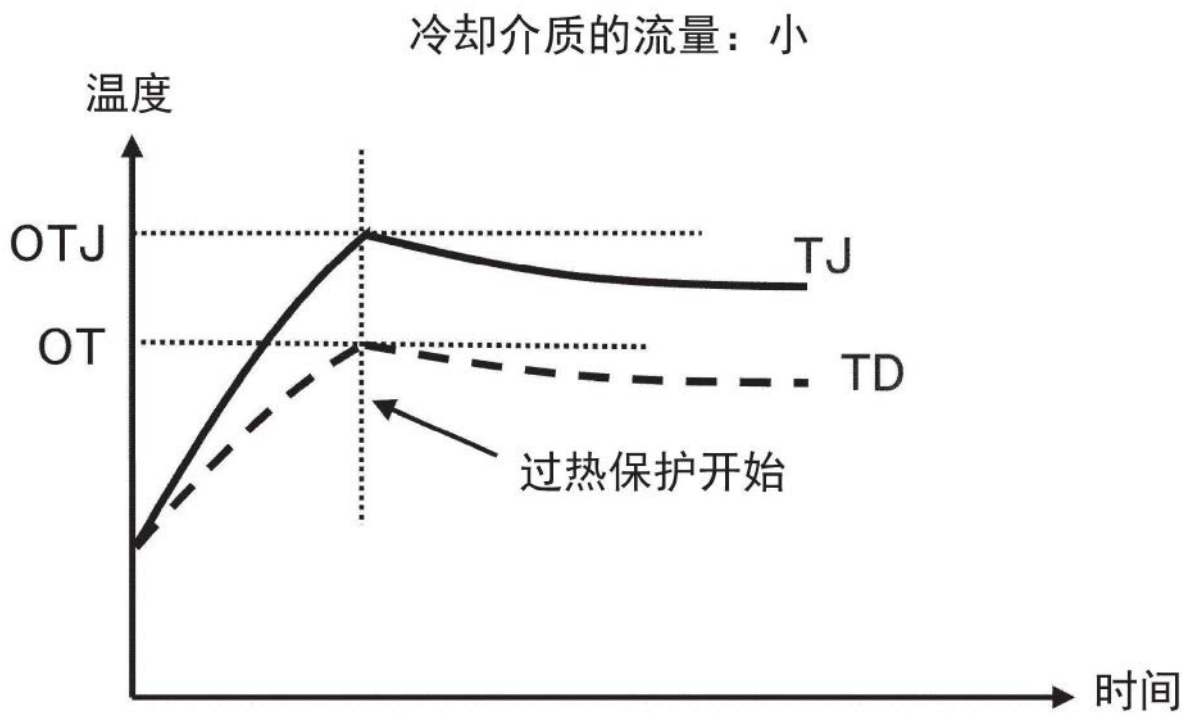


图23

冷却介质的流量：大

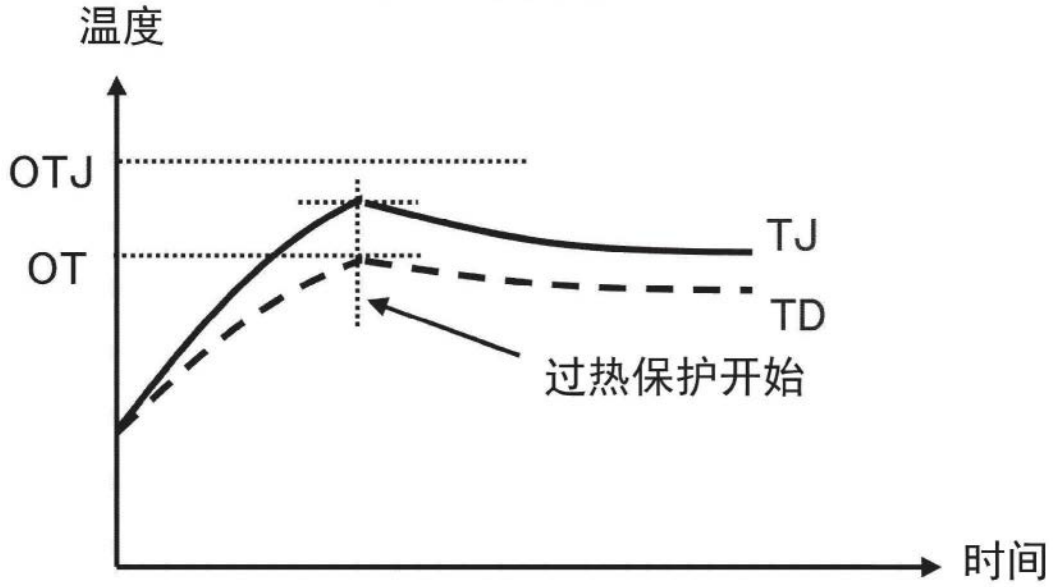


图24

冷却介质的流量：小

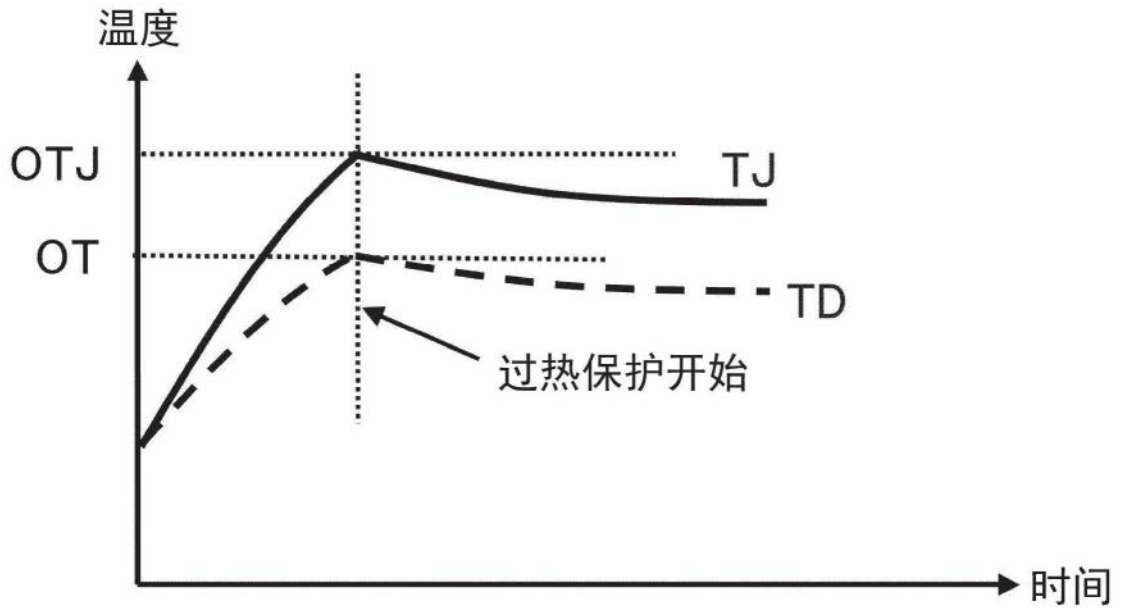


图25

冷却介质的流量：大

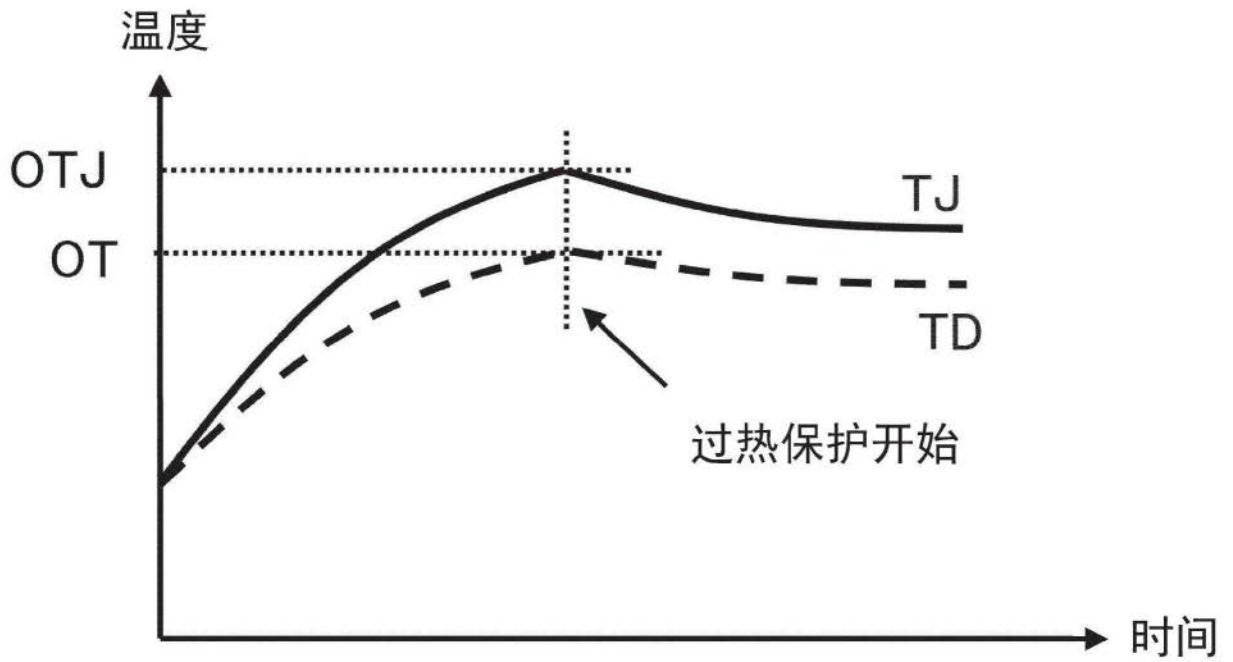


图26

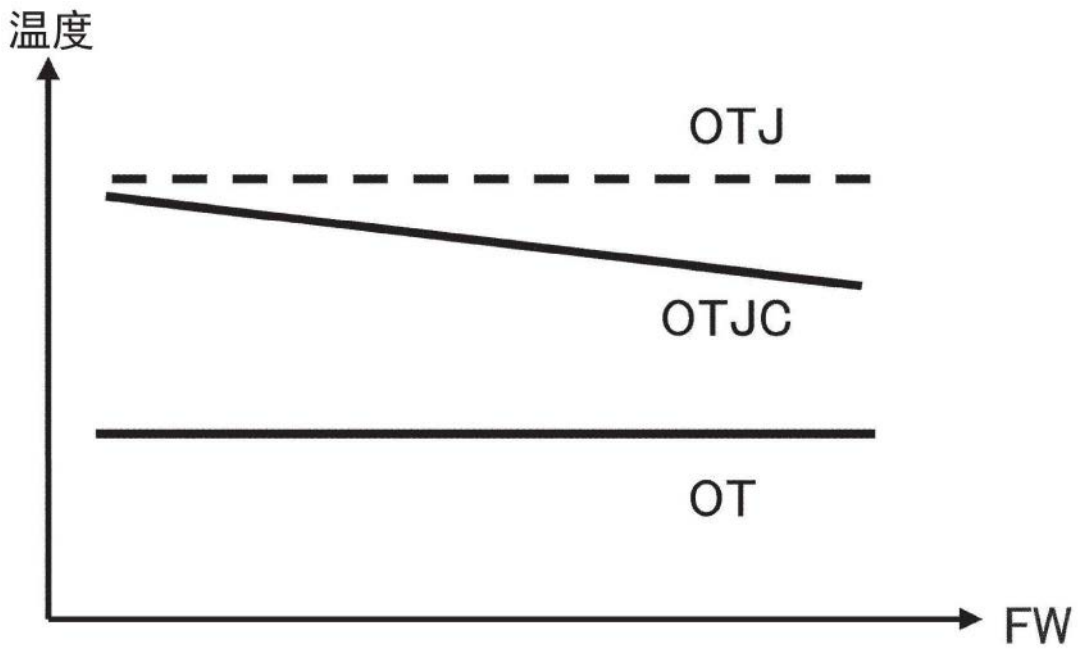


图27

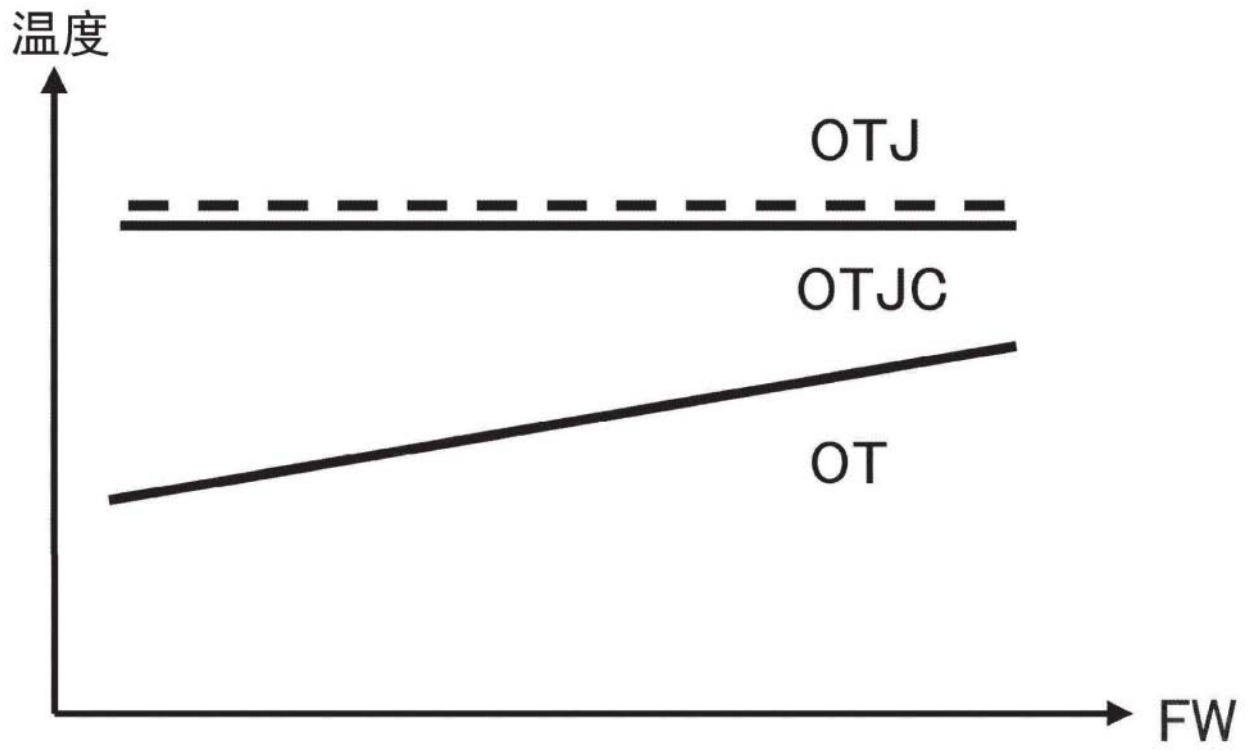


图28

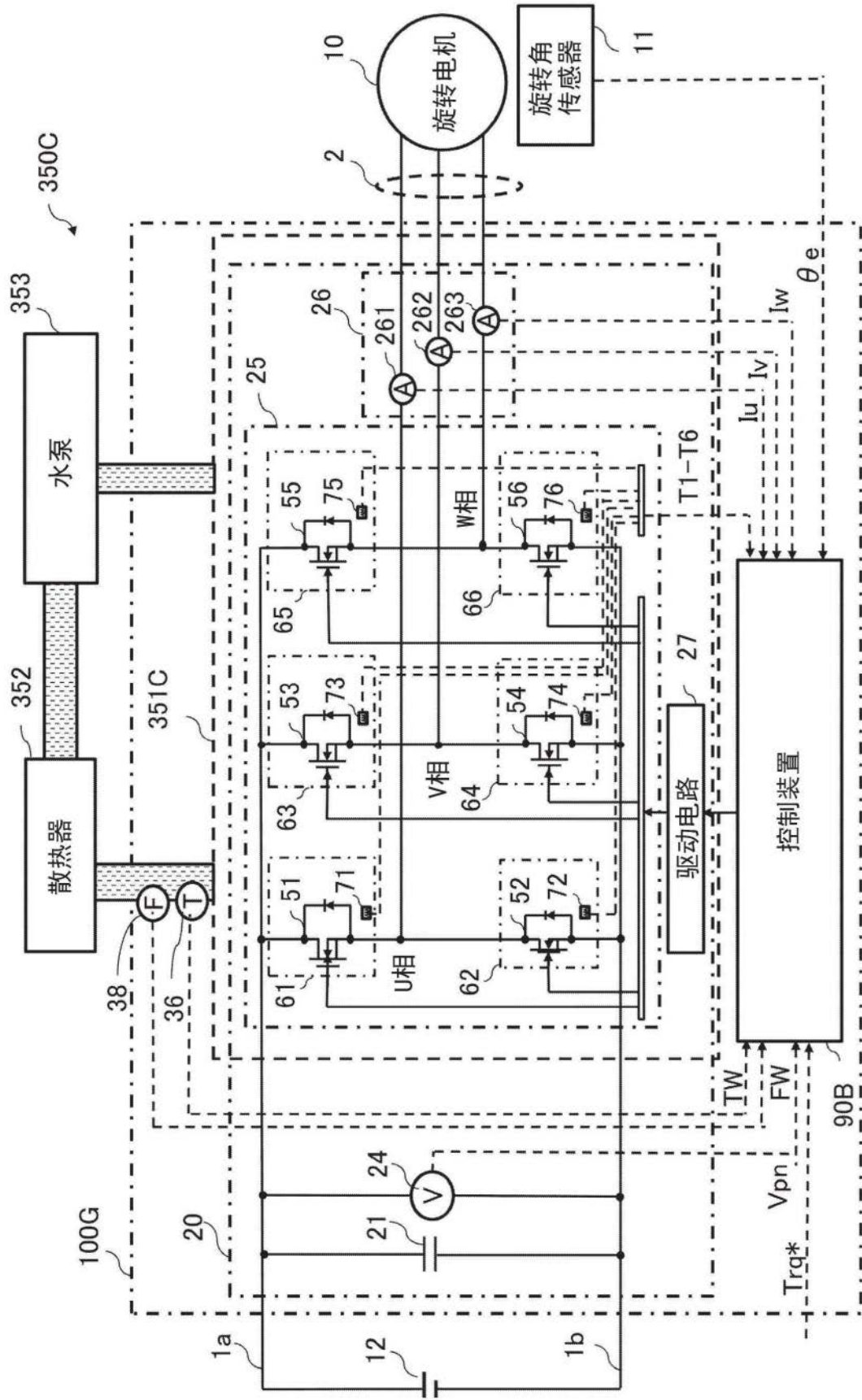


图29

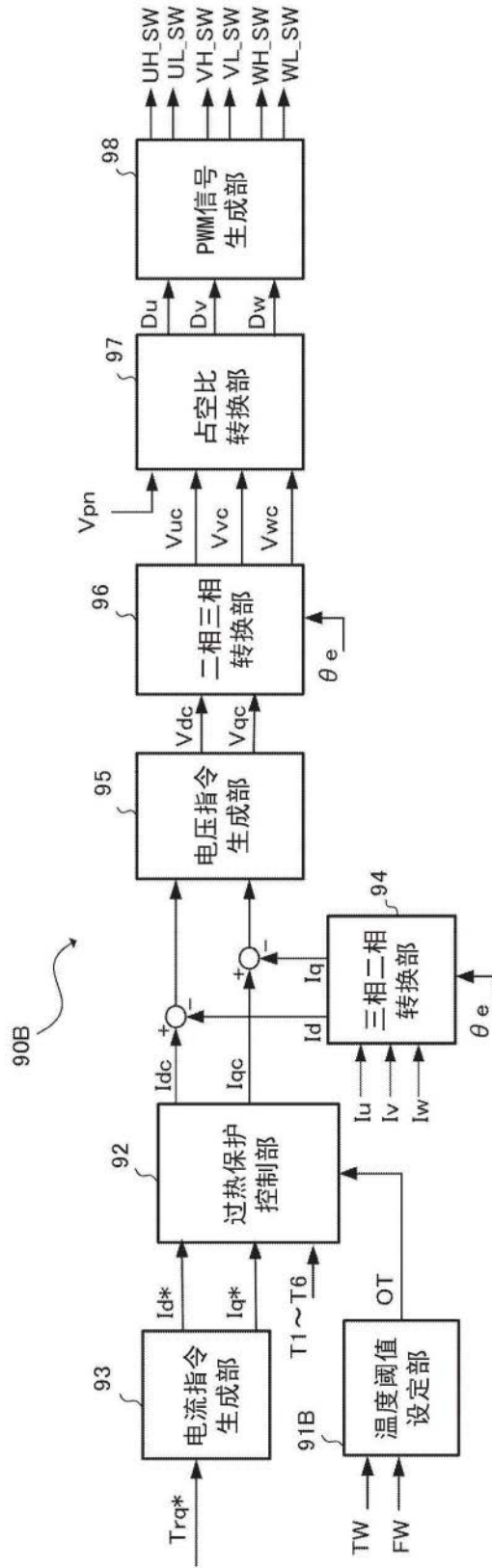


图30

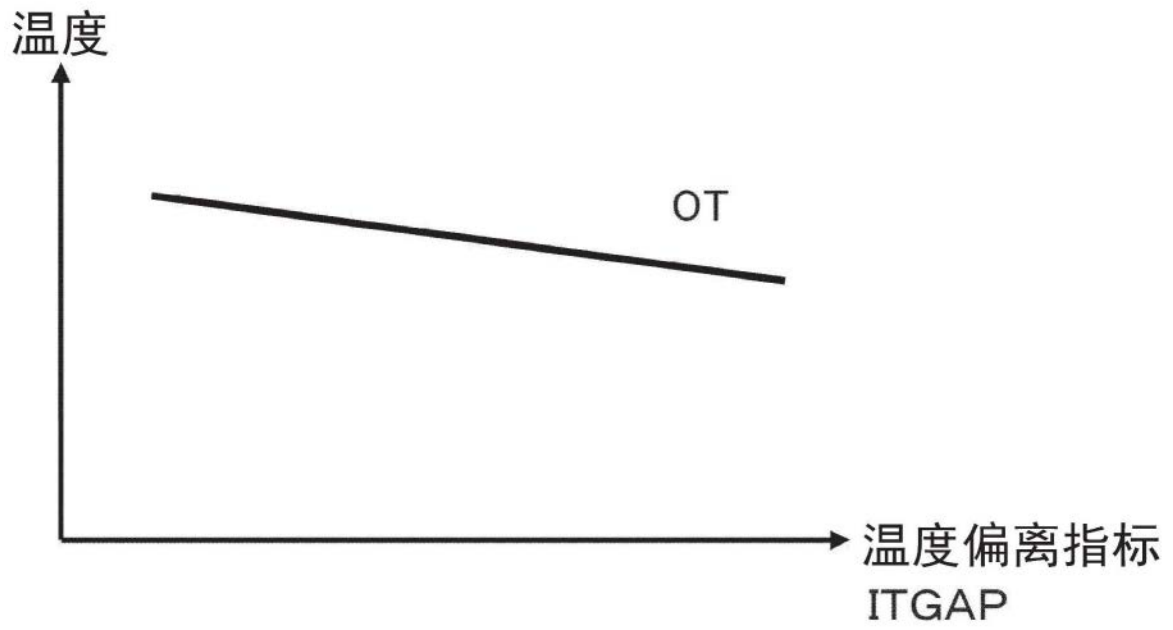


图31