(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105245126 A
(43)申请公布日 2016.01.13

(21)申请号 201510691401.0

(22)申请日 2015.10.22

(71)申请人 江苏绿扬电子仪器集团有限公司
地址 212200 江苏省镇江市扬中市绿扬路88号

(72)发明人 赵通超

(74)专利代理机构 青岛中天汇智知识产权代理有限公司 37241
代理人 刘水明

(51)Int.Cl.
H02M 7/797(2006.01)
G09B 23/18(2006.01)

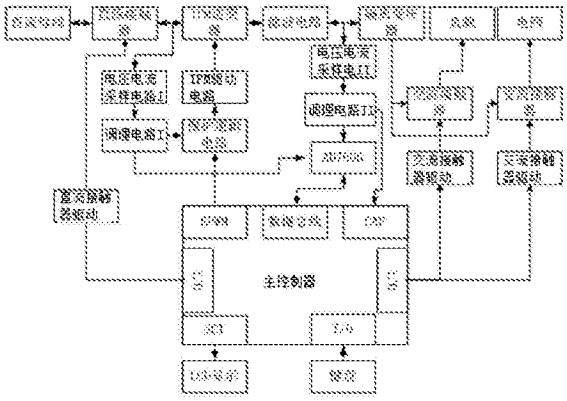
权利要求书1页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

教学逆变系统模块

(57)摘要

本发明属于电子技术领域，具体涉及一种新型教学逆变系统模块，包括主控制器、直流接触器、IPM逆变器、滤波电路、隔离变压器、直流接触器驱动、电压电流采样电路I、调理电路I、IPM驱动电路、保护逻辑电路、电压电流采样电路II、调理电路II、A/D转换器、交流接触器和交流接触器驱动。本发明的可工作在多种模式下的逆变器系统，为微网实验平台的一部分，既可将实验平台的电能传送到电网，又可将电网电能通过PWM整流方式输送到微网实验平台上，供其他用电设备使用。该教学逆变系统模块作为直流微网系统中电压调节器使用，还可将直流微网作为电网的备份电源，在电力系统故障时，向重要负载供电。



CN 105245126 A

1.教学逆变系统模块，其特征在于：包括主控制器、直流接触器、IPM逆变器、滤波电路、隔离变压器、直流接触器驱动、电压电流采样电路I、调理电路I、IPM驱动电路、保护逻辑电路、电压电流采样电路II、调理电路II、A/D转换器、交流接触器和交流接触器驱动；所述IPM逆变器通过直流接触器与直流母线相连，所述直流接触器通过直流接触器驱动与主控制器相连，所述IPM逆变器通过滤波电路及隔离变压器后，分别经过交流接触器后与负载及电网相连，所述交流接触器通过交流接触器驱动与主控制器相连，所述IPM逆变器通过IPM驱动电路和保护逻辑电路与主控制器相连，所述直流接触器和IPM逆变器之间连接电压电流采样电路I，所述电压电流采样电路I连接到调理电路I，所述调理电路I分别连接到保护逻辑电路和A/D转换器，所述滤波电路和隔离变压器之间连接电压电流采样电II，所述电压电流采样电路II连接到调理电路II，调理电路II分别连接到A/D转换器和主控制器，所述A/D转换器与主控制器相连。

2.根据权利要求1所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述主控制器采用型号为TMS320F28335的DSP处理器。

3.根据权利要求1所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述IPM逆变器采用IGBT器件作为开关器件。

4.根据权利要求1所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述IPM逆变器采用型号为PM50RLA120的IPM。

5.根据权利要求1所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述电压电流采样电路分别采用电压传感器和电流传感器进行电压电流采样。

6.根据权利要求5所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述电压传感器和电流传感器均为霍尔传感器，所述电压传感器采用TBV10/20系列霍尔电压传感器，所述电流传感器采用TBC-D系列霍尔电流传感器。

7.根据权利要求1所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述A/D转换器的型号为AD7606。

8.根据权利要求1所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述IPM驱动电路包括光电耦合器，所述光电耦合器的型号为HCPL4504。

9.根据权利要求1所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述逆变系统模块还包括LCD显示，所述的LCD显示与控制器相连。

10.根据权利要求1所述的教学逆变系统模块，其特征在于：所述逆变系统模块还包括键盘，所述的键盘与控制器相连。

教学逆变系统模块

技术领域

[0001] 本发明属于电子技术领域，具体涉及一种新型教学逆变系统模块。

背景技术

[0002] 微网是智能电网发展的一个重要方面，向大学生展示并教授由光伏、风力发电等装置组成的微网知识，对推动我国智能电网发展起着至关重要的作用。研制用于教学的包含光伏、风力发电、储能等装置的微网实验平台，对分布式电源及智能电网都有着极其有效的推广作用。

[0003] 微网实验平台主要包括太阳能发电、风力发电、储能、单相变频逆变、三相并网逆变、直流电机驱动、直流负载等。要想使实验平台中各个部分组成微网，在一个系统中同时运行，需要将光伏、风机、蓄电池等连接到一个统一的母线上。目前主要有交流和直流两种母线类型。交流母线与传统电网更为贴近，在保证该母线电压、频率、相位与电网相同时，即可并网，但需要利用逆变装置将直流电流逆变成交流电流。直流母线较交流母线，控制上相对容易，功率及电压控制均可归结为直流母线电压控制，采用 DC/DC 电路就可将微网中新能源发出的电能并入到直流母线上。微网实验平台中的光伏、蓄电池、超级电容等均为直流型器件，采用直流母线较为合适。直流母线电压选择为 48V，主要基于以下两点考虑：

[0004] (1)、该实验平台做为学生科研学习的试验平台，电压超过安全电压太高则很难保证学生实验时候安全。

[0005] (2)、实验平台功率要能达到 500W，直流母线电压较低时，直流电流要较大才能达到额定功率，这将增加实验平台的成本。实验平台采用 48V 直流母线标准，最大电流可达到 20A。

[0006] 为让学生直观的了解到各种新能源的特性及其换流电路，将各个功能电路以模块化的形式区分开来，该实验平台可划分成以下几个模块：太阳能发电模块、风力发电模块、储能模块、单相逆变模块、三相并网模块及直流负载模块。

[0007] 太阳能发电模块利用 DC/DC 电路将光伏电能传输到直流母线上，并可利用该 DC/DC 电路实现 MPPT 功能。风机发出三相交流电流，通过整流桥后变成直流，然后再利用 DC/DC 电路将风机发出的电能传输到直流母线上，该模块同样需要实现 MPPT 功能。储能模块的储能设备主要是蓄电池和超级电容，二者可利用同类型的 DC/DC 电路，实现储能模块与直流母线能量传递。三相逆变模块，主要将直流电能转换成三相交流电能传送到电网或是三相负载上，该逆变模块还可将三相电网上电能通过 PWM 整流方式传输到直流母线上，供实验平台上直流用电设备使用。其余的用电设备多通过单相逆变模块及 DC/DC 模块与直流母线相连。实验平台结构图如图 1 所示。

[0008] 图 1 所示的实验平台中太阳能发电模块、风力发电模块、储能模块及直流负载模块、三相逆变模块均需要 MOSFET 驱动电路、电压电流采样调理电路，主控制板等。如果每个模块都独立布置这些电路，既耗时，又不利于学生理解电路中各个功能。所以有必要将各个模块中的功能细化，将实现同样功能的电路做成模块，将各个功能模块组成图 1 中所示的

各个模块；为了能更有利于教学和实训特开发了本教学逆变系统模块。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种用于直流微网系统，可工作在 PWM 整流、并网逆变及独立逆变状态下的能量可双向流动的教学逆变系统模块。

[0010] 为了实现上述目的，本实用新型采用如下技术方案：教学逆变系统模块，包括主控制器、直流接触器、IPM 逆变器、滤波电路、隔离变压器、直流接触器驱动、电压电流采样电路 I、调理电路 I、IPM 驱动电路、保护逻辑电路、电压电流采样电路 II、调理电路 II、A/D 转换器、交流接触器和交流接触器驱动；所述 IPM 逆变器通过直流接触器与直流母线相连，所述直流接触器通过直流接触器驱动与主控制器相连，所述 IPM 逆变器通过滤波电路及隔离变压器后，分别经过交流接触器后与负载及电网相连，所述交流接触器通过交流接触器驱动与主控制器相连，所述 IPM 逆变器通过 IPM 驱动电路和保护逻辑电路与主控制器相连，所述直流接触器和 IPM 逆变器之间连接电压电流采样电路 I，所述电压电流采样电路 I 连接到调理电路 I，所述调理电路 I 分别连接到保护逻辑电路和 A/D 转换器，所述滤波电路和隔离变压器之间连接电压电流采样电 II，所述电压电流采样电路 II 连接到调理电路 II，调理电路 II 分别连接到 A/D 转换器和主控制器，所述 A/D 转换器与主控制器相连。

[0011] 优选地，所述主控制器采用型号为 TMS320F28335 的 DSP 处理器。

[0012] 优选地，所述 IPM 逆变器采用 IGBT 器件作为开关器件。

[0013] 优选地，所述 IPM 逆变器采用型号为 PM50RLA120 的 IPM。

[0014] 优选地，所述电压电流采样电路分别采用电压传感器和电流传感器进行电压电流采样。

[0015] 优选地，所述电压传感器和电流传感器均为霍尔传感器，所述电压传感器采用 TBV10/20 系列霍尔电压传感器，所述电流传感器采用 TBC-D 系列霍尔电流传感器。

[0016] 优选地，所述 A/D 转换器的型号为 AD7606。

[0017] 优选地，所述 IPM 驱动电路包括光电耦合器，所述光电耦合器的型号为 HCPL4504。

[0018] 优选地，所述逆变系统模块还包括 LCD 显示，所述的 LCD 显示与控制器相连。

[0019] 优选地，所述逆变系统模块还包括键盘，所述的键盘与控制器相连。

[0020] 本发明的可工作在多种模式下的逆变器系统，为微网实验平台的一部分，既可将实验平台的电能传送到电网，又可将电网电能通过 PWM 整流方式输送到微网实验平台上，供其他用电设备使用。该教学逆变系统模块作为直流微网系统中电压调节器使用，还可将直流微网作为电网的备份电源，在电力系统故障时，向重要负载供电。

附图说明

[0021] 图 1 为实验平台结构图；

[0022] 图 2 为教学逆变系统模块件结构图；

[0023] 图 3 为霍尔电压传感器电路图；

[0024] 图 4 为霍尔电流传感器电路图；

[0025] 图 5 为电压跟随及偏置电路；

[0026] 图 6 为频率检测电路；

[0027] 图 7 为比较及触发电路；

[0028] 图 8 为绝对值电路；

[0029] 图 9 为保护逻辑电路图；

[0030] 图 10 为 IPM 部分驱动电路；

[0031] 图 11 接触器驱动电路。

具体实施方式

[0032] 下面结合具体实施方式对本发明进行详细的描述。

[0033] 教学逆变系统模块，包括主控制器、直流接触器、IPM 逆变器、滤波电路、隔离变压器、直流接触器驱动、电压电流采样电路 I、调理电路 I、IPM 驱动电路、保护逻辑电路、电压电流采样电路 II、调理电路 II、A/D 转换器、交流接触器和交流接触器驱动；所述 IPM 逆变器通过直流接触器与直流母线相连，所述直流接触器通过直流接触器驱动与主控制器相连，所述 IPM 逆变器通过滤波电路及隔离变压器后，分别经过交流接触器后与负载及电网相连，所述交流接触器通过交流接触器驱动与主控制器相连，所述 IPM 逆变器通过 IPM 驱动电路和保护逻辑电路与主控制器相连，所述直流接触器和 IPM 逆变器之间连接电压电流采样电路 I，所述电压电流采样电路 I 连接到调理电路 I，所述调理电路 I 分别连接到保护逻辑电路和 A/D 转换器，所述滤波电路和隔离变压器之间连接电压电流采样电 II，所述电压电流采样电路 II 连接到调理电路 II，调理电路 II 分别连接到 A/D 转换器和主控制器，所述 A/D 转换器与主控制器相连。

[0034] 所述主控制器采用型号为 TMS320F28335 的 DSP 处理器。

[0035] 所述 IPM 逆变器采用 IGBT 器件作为开关器件。

[0036] 所述 IPM 逆变器采用型号为 PM50RLA120 的 IPM。

[0037] 所述电压电流采样电路分别采用电压传感器和电流传感器进行电压电流采样。

[0038] 所述电压传感器和电流传感器均为霍尔传感器，所述电压传感器采用 TBV10/20 系列霍尔电压传感器，所述电流传感器采用 TBC-D 系列霍尔电流传感器。

[0039] 所述 A/D 转换器的型号为 AD7606。

[0040] 所述 IPM 驱动电路包括光电耦合器，所述光电耦合器的型号为 HCPL4504。

[0041] 所述逆变系统模块还包括 LCD 显示，所述的 LCD 显示与控制器相连。

[0042] 所述逆变系统模块还包括键盘，所述的键盘与控制器相连。

[0043] 本教学逆变系统模块为一套母板，该母板采用插拔的组装方式，将主控制器、调理后的电压及电流信号、继电器驱动电路、过流过压保护逻辑电路组合到一起。各个模块可供学生单独研究学习使用，具有示范作用。以下为将 DSP 主控制板的设计、电压电流采样及过流保护电路设计、IPM 驱动电路设计介绍。

[0044] 图 2 为教学逆变系统模块结构图，主要由 DSP 主控制板、直流接触器、IPM 逆变器、滤波电路、隔离变压器、直流接触器驱动、电压电流采样电路、调理电路、IPM 驱动电路、保护逻辑电路、A/D 转换器、交流接触器和交流接触器驱动等组成。直流母线通过直流接触器与 IPM 逆变器相连。IPM 逆变器通过滤波电路及隔离变压器后，分别经过交流接触器后与负载及电网相连。直流接触器、交流接触器分别受 DSP 控制，DSP 输出的 PWM 信号通过保护逻辑电路后进入 IPM 驱动电路，IPM 驱动电路控制 IPM 逆变器。利用电压、电流传感器分别检测

直流母线电压、流入逆变器的电流及隔离变压器原边的电压及电流，随后通过调理电路后，将电压、电流信号送入 A/D 转换器 AD7606，将频率及相位信息送入 DSP 的 CAP 口，供 DSP 检测频率及相位。AD7606 将模拟信号转换成数字信号后通过 DSP 数据总线传入 DSP。利用检测得到的电压电流信息，并利用特殊的控制算法就可使逆变器按我们要求工作在目标状态。以下为教学逆变器系统模块的主要器件和功能。

[0045] 1、逆变器开关器件

[0046] 本教学逆变系统模块选用三相全桥拓扑结构，需要采用 6 只电力电子开关器件来组成全桥结构。较常用的电力电子器件有晶闸管、电力晶体管、IGBT、MOSFET 等。晶闸管能在高电压、大电流条件下工作，属于半控型器件，只有在关断触发信号和晶闸管电流为零时，才可关闭，不适用于双极性 PWM 调制算法。电力晶体管耐压高、电流大、开关特性好，但驱动电路复杂，要求驱动功率较大，且驱动功率与流过器件的电流成正比。IGBT 由 BJT（双极型三极管）和 MOS（绝缘栅型场效应管）组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件，兼有 MOSFET 的高输入阻抗和 GTR 的低导通压降两方面的优点。本教学逆变器系统模块采用 IGBT 器件作为开关管。考虑到学生实验的可靠及安全性，采用带有 IGBT 驱动及过流过压保护输出信号的 IPM，即集成智能功率模块，该模块稳定性高，用于中小功率场合。考虑到学生可在该平台上做直流电压为 600V ～ 800V 的三相逆变实验，选择 IPM 耐压及耐流应有较大的裕量。本逆变器系统采用的 IPM 型号为 PM50RLA120，该 IPM 可耐压 1200V，耐流可达到 50A。该模块内集成 7 只 IGBT，6 只可应用来组成三相逆变器电路，1 只可用来作为 BOOST 电路的开关器件，可供学生方便的组成双级逆变结构逆变器，本发明利用该模块中的 6 只 IGBT 用来组成三相逆变电路。

[0047] 2、主控制器

[0048] 本教学逆变器系统模块的控制核心是主控制器，该控制器控制电压及电流使其达到我们预定的参考值。传统的控制器主要有单片机、ARM、DSP 等。DSP 是一种独特的微处理器，它不仅具有可编程性，而且其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序，远远超过通用微处理器，是数字化电子世界中日益重要的电脑芯片。它的强大数据处理能力和高运行速度，是最值得称道的两大特色。

[0049] 本教学逆变器系统模块采用型号为 TMS320F28335 的 DSP 处理器作为逆变器的主控制器，用到的功能主要有 :输入捕捉功能，定时器，PWM，UART，普通 I\O 功能。

[0050] 3、电压电流传感器选型及电路

[0051] 本教学逆变器系统模块需要通过逆变器交流侧的滤波电感电流、负载电压、逆变器直流侧电压、电网电压等变量值的反馈来对逆变器控制使其工作在我们所期望的状态下。为此需要检测相关的电压及电流，再将检测到的电压电流信号调理到 AD 转换器所能转换的范围内。由于系统中存在开关频率较高的电力电子开关器件，逆变器电感电流及输出电压中含有开关频率倍数次谐波。若采用非隔离式的电压电流检测算法，将使控制回路受谐波污染，从而降低了系统的抗干扰能力，及稳定性。

[0052] 为保证弱电系统与强电系统隔离，采用霍尔电压、电流传感器来检测系统电压、电流。考虑到实验平台功率不高，电压级别也不高，要求的稳定性及精度不需要太高，遂采用国产 TBC-D 系列霍尔电流传感器和 TBV10/20 系列霍尔电压传感器。

[0053] TBC25D 霍尔电流传感器为额定电流 25A 的穿孔式传感器。工作电压为 ±15V，其

在额定电流时，输出 25±0.5% mA 的电流，失调电流为 ±0.2mA，带宽最高 100KHz。

[0054] TBV10/20 霍尔电压传感器先将被测电压转换成电流信号，然后再利用霍尔传感器测出该电流量，并输出与被测电流量成两倍关系的电流信号，该电流信号与被测电压完全隔离。需要选用合适的采样电阻将被测电压转换成适中的电流后才能利用霍尔电压传感器。霍尔电压传感器的额定输入电流有效值为 10mA。若测量电压为 U(V)，则采样电阻 R ≥ U×100(Ω)。本教学逆变系统模块需要测量的电压为 48V 直流母线电压，18V 交流输出电压（三相变压器低压侧）。直流母线电压级别最高，选取串联采样电阻为 5.1KΩ，测量直流电压时，霍尔电压传感器输入电流为 9.41mA（直流），输出侧输出电流为 18.82mA（直流）。为统一采样电路，在电压为 18V 交流电压时，串联采样电阻仍取 5.1KΩ，则霍尔电压传感器输入电流为 3.53mA（有效值），输出侧输出电流为 7.06mA（有效值）。

[0055] 目前较常用的电力系统检测相关的双极性 AD，本教学逆变器系统模块是采用 AD 公司的生产的 76 系列 AD 转换器。该系列转换器模拟电压输入范围分 ±10V 和 ±5V，供电电压为 ±15V 和 ±5V 两种。本逆变系统采用 AD7606，该转换器采用 5V 单电源供电，可通过外部编程方式实现量程为 ±10V 或 ±5V 真双极性 AD 转换，其八通道可同时采样，所有通道均能以高达 200kSPS 的吞吐速率采样。输入箝位保护电路可以耐受最高达 ±16.5V 的电压。无论以何种采样频率工作，AD7606 的模拟输入阻抗均为 1MΩ。它采用单电源工作方式，具有片内滤波和高输入阻抗，因此无需驱动运算放大器和外部双极性电源。AD7606 抗混叠滤波器的 3dB 截止频率为 22kHz；当采样速率为 200ksps 时，它具有 40dB 抗混叠抑制特性。本文通过外部配置使 AD7606 的 AD 转换范围为 ±5V。

[0056] 由于霍尔电压电流传感器测得的逆变器交流侧电压及电流是以交流电流信号的形式输出的。要通过采样电阻将交流电流信号转换成交流电压信号，方可利用 AD 转换器。采样电阻（测量电阻）最小值为 100Ω，最大为 350Ω。本教学逆变系统模块采样电阻为 200Ω，这样在电压传感器输出 20mA 电流时，采样电阻上的电压为 4V。图 3 为霍尔电压传感器外围电路图，图 3 中的 C1、C2、C3、C4 为去耦电容，用于消除噪声对传感器电路的影响。电阻 R4 为霍尔电压传感器的串联采样电阻，电阻 R5 为输出电压采样电阻。Vout 为 P、N 两端电压所对应的霍尔电压传感器输出电压。则 V_{out} 可通过式 1 算得。

[0057] $$V_{out} = 2 \times \frac{U_{PN}}{R4} \times R5 \qquad (1)$$

[0058] 霍尔电压传感器输出电压与实际电压变比为 2×R5/R4。取 R5 = 200Ω，R4 = 5.1KΩ，则变比 k_{ud} = 1/12.75。

[0059] 图 4 为 TBC-D 霍尔传电流感器外围电路图，该传感器外围电路与电压传感器基本一致。该电流传感器既可通过物理连线的方式，测量流过的电流值；也可通过穿孔的方式，非接触式的检测穿过电流传感器孔径的电流值。本教学逆变系统模块利用非接触式的电流测量方法。霍尔电流传感器输出电压与实际电流变比为 R5/1000。R5 取 200Ω 时，变比为 1V/5A。

[0060] 4、调理电路

[0061] 调理电路主要由电压跟随及偏置电路、频率检测电路、比较及触发电路和绝对值电路组成。

[0062] 4.1、电压跟随及偏置电路

[0063] 利用霍尔电压电流传感器可将被测电压及电流变成与其隔离的 -5V ～ +5V 的电压信号，将该电压信号输入到电压跟随器后即可送入 AD 转换器。通过一个加法电路可将 -5V ～ +5V 的交流电压信号变成 0V ～ +10V 的直流电压信号，若再选择合适的霍尔电压电流传感器采样电阻就可将直流电压信号变为 0V ～ +3V，该信号可直接送入 DSP 内部 AD 转换器。考虑到学生能利用 DSP 内部 AD 转换器测量电压及电流。特增加一电压偏置电路，使交流信号变为直流信号，如图 5 所示。

[0064] 图 5 中 VOUT_SIN 可输送到外部 AD，偏置后的直流电压信号在保证其电压为 0V ～ +3V 时，可将其输送到 DSP 内部 AD 引脚上。此处仅采用一个运放，该运放将使正弦信号反向并偏置 +1.65V。在霍尔传感器未接入跟随器时，直流输出电压将为 15V 或 -15V。若此时接入 DSP 将烧毁 DSP，故在 DSP 内部 AD 输入处接一 3.3V 单电源供电的电压跟随器，这将保证输送给 DSP 的电压信号在 3.3V 以内。为降低电压跟随器到 AD 转换器过程中的电磁干扰，采用屏蔽电缆传送测量得到的电压信号，并在靠近 AD 转换器输入引脚的地方放置一个由 RC 组成的滤波器，该滤波器必须靠近 AD 转换器输入引脚，否则其效果将大打折扣。

[0065] 4.2、频率检测电路

[0066] 本逆变系统需要利用硬件电路检测电网电压频率。可通过检测电网电压的过零时间间隔来计算电网电压频率。若将交流电压通过双电源供电的过零比较器，将会在比较器输出端输出正负交替的方波信号。该信号还需再经过整形变成电平在 0-3.3V 内的方波后方能送入 DSP 输入捕捉管脚。若将交流电压直接输送到单电源供电的过零比较器，在交流电压瞬时值小于 -0.7V 时，比较器将输出与交流电压为正时相同的电平，从而导致无法判断过零点。所以采用图 5 所示的经偏置电路偏置后的电网电压信号输送到图 6 所示的单电源供电的比较器，由于电网电压检测信号通过 +1.65V 偏置后过零点变成 1.65V，所以将偏置后的电压信号与 1.65V 比较。大于 1.65V 时，比较器输出 0V ；小于 1.65V，比较器输出 3.3V。该方波信号可直接送入 DSP 的输入捕捉端口。为了防止电网电压过零点时震荡，采用施密特比较器，取电阻 R34 为 200Ω。图 6 为电网电压频率相位检测电路，R200、R201、C52 构成 T 型低通滤波器，R200 ＝ R201 ＝ 1KΩ，C52 ＝ 104。该滤波器的截止频率为 $f=\frac{1}{2\pi RC}=500KHz$，频率为 50Hz 的正弦信号通过该滤波器，相位及幅值变化均较小，此处忽略不计。

[0067] 4.3、比较及触发电路

[0068] 本教学逆变器系统模块用于微网实验平台，供学生学习、实验所用。学生在对逆变原理不清楚及编程出错的情况下时，会出现过流等极端情况。若不加任何保护措施，将会使逆变器在很短时间内遭到毁坏，还会引起火灾等危险事故。故需要在本实验平台上加过流过压保护。本逆变器采用的 IPM 本身带有过流、过温信号输出但不能自动闭琐触发脉冲，需要 PWM 脉冲闭锁电路才能实现过压过流保护。

[0069] 本教学逆变系统模块除采用 IPM 过流过温保护外，还利用霍尔电压、电流传感器检测转换得到的电压信号来实现过流过压保护。得到过流过压信号后，有两种方法封锁 IPM 的 PWM 控制信号。一种通过软件的方式，将过流过压信号输送到 DSP 的 TZ 引脚（该引脚上电平变化会使 DSP 封锁 PWM 输出，并将输出固定为高电平或低电平），或是利用中断程序关闭 PWM 模块。另一种方法是通过外部硬件闭锁电路实现，将 PWM 信号通过 74LS245 后输出，

245 带有使能端（低电平有效），在使能下才输出 PWM 信号，在检测到过压过流信号时，将使能电平从低电平变成高电平，从而封锁 PWM 信号。第二种方法，可靠性高，不需要软件配合，较适用于本逆变系统涉及的逆变器保护。74LS245 是双向的，控制信号有 EN 与 DIR，给出具体电路。另外，未说明驱动有效电平。

[0070] 本教学逆变器系统模块采用硬件闭锁电路，实现过流过压保护。将霍尔传感器输出的电压信号与一参考电压通过比较器比较，在霍尔传感器输出电压偏高（过流、过压情况下）时，比较器输出低电平，反之输出高电平。当比较器输出低电平时，可用该低电平关闭逆变器，使其输出电压、电流为零从而避免过压过流。但关闭 PWM 后，比较器又会迅速的恢复高电平。这样会在较短的时间内重复解锁、封锁逆变器，不能起到很好的保护作用。

[0071] 本教学逆变器系统模块在比较器输出后接一 D 触发器。该触发器可保持过压过流时比较器的输出状态，并可通过清零端口控制触发器复位，从而实现可靠的自启动。图 7 为比较器及触发电路。通过调整图中电位器阻值，即可改变比较器的门槛电压，从而改变过流及过压的门槛值。

[0072] 4.4、绝对值电路

[0073] 由于交流电路中，过压过流既可能出现正向过压过电，也可出现负向过压过流，本教学逆变系统模块采用加绝对值电路的方式，把霍尔传感器输出的电压信号变成全为正电压值的半波信号，再将该信号送入图 7 所示电路，就可保证在正向和负向过压过流时，均能有效动作。绝对值电路如图 8 所示。

[0074] 5、保护逻辑电路

[0075] 本教学逆变器系统模块利用 74LS245，在系统过压过流时，封锁 PWM 信号。由于三相逆变器需要测量四组电压值（三相电压中的三路线电压和直流电压）、四组电流值（三相电流及直流侧电流）。共有八路保护值，IPM 模块还有四路过流及过温保护信号。以上 12 路保护信号只要有一个为低电平就要使 74LS245 的使能端电压为高电平，封锁 PWM 信号。将 12 路保护信号与逻辑运算后，经过电平转换电路送给 245 就可实现上述功能。由于没有 12 路与门芯片，本文采用含四只二输入与门的 74LS09，由于该芯片为集电极开路，所以可将与门线与，这样可以减少与门的数量。

[0076] 将 IPM 输出的过流过压及过温保护作为备份保护，在电压电流传感器采样保护失败的情况下起作用。通常情况下电压电流传感器采样保护门槛值远低于 IPM 额定电压电流值，可在 IPM 保护动作之前封锁 PWM 信号。IPM 自带保护仅作为后备保护使用，让其保护一段时间后自动释放。本教学逆变系统模块采用由 555 构成的单稳态触发器将 IPM 输出的保护信号保持 10s 后释放。在保护起作用时，U2D 输出低电平，该低电平可送入 DSP 中，可通过中断方式感知保护动作，从而采取相应的措施（如将接触器等断开）。245 的使能端为低电平有效，即在没有过压过流时，该端口要施加低电平。保护动作时，要对该端口施加高电平，所以要在 U2D 输出端添加一反相器，并采用三极管构成反相电路，具体实现如图 9 所示。

[0077] 6、IPM 驱动电路

[0078] 本教学逆变器系统模块采用的 IPM 内部集成 7 只 IGBT，有 7 个控制输入端分别控制该 7 个 IGBT 的导通与关闭。IGBT 控制端输入低电平时，其对应的 IGBT 导通；输入高电平时，其对应的 IGBT 关断。只有保证控制输入端高电平时大于 9.0V，低电平时小于 0.8V 时，IPM 才可正常工作。采用 HCPL4504 来设计 IPM 驱动电路，具体电路如图 10 所示。

[0079] 图10中仅为一个IPM中一个IGBT的驱动电路。本教学逆变系统模块为三相逆变，需要6只IGBT同时工作，因此需要6个此类型的驱动电路。图10中PWM_IN为高电平或高阻态时，HCPL4504内部发光二极管不工作，光耦输出管脚输出高电平，IPM内部对应IGBT关闭；PWM_IN为低电平时，HCPL4504内部发光二极管工作，光耦输出管脚输出低电平，IPM内部对应IGBT导通。

[0080] 电容C2用于稳定GS两端电压，提高抗扰能力。在实际使用时，电容C2比较重要，不加此电容，IGBT会在干扰的作用下，随机导通关闭，严重影响逆变器输出的波形质量。本逆变系统中取C2值为100pf。IGBT驱动是加于IGBT的栅极与发射极之间的，三相全桥逆变器上桥臂上IGBT的发射极与下桥臂上IGBT的集电极相连，若上下桥臂IGBT驱动采用同一个15V电源，将使下桥臂IGBT短路。所以，三相全桥逆变器需要四个隔离的15V电源，其中三个分别给三个上桥臂IGBT驱动供电，其余一个给下桥臂三个IGBT供电。

[0081] 7、接触器驱动电路

[0082] 本教学逆变器系统模块利用接触器使逆变器与直流母线、三相电网、三相负载隔离。由于接触器驱动电压及电流均较大，需要利用继电器来驱动接触器。本教学逆变器系统模块选用的三相接触器驱动电压为24V。先利用三极管控制24V继电器，再利用该继电器来驱动接触器，具体实现如图11所示。选用的24V继电器为一输入、一常开、一常闭结构。继电器输出回路端口均通过凤凰端子引出在外部与电源及三相接触器相连接。为能够直观的观察继电器接通与断开情况，特别添加LED，该LED与电阻串联后输出到凤凰端子，可通过外部接线的方式接到接触器上，在接触器闭合时使LED发光。为降低继电器在驱动接触器时对控制侧的影响，采用光耦将驱动控制电路与驱动电路隔离。

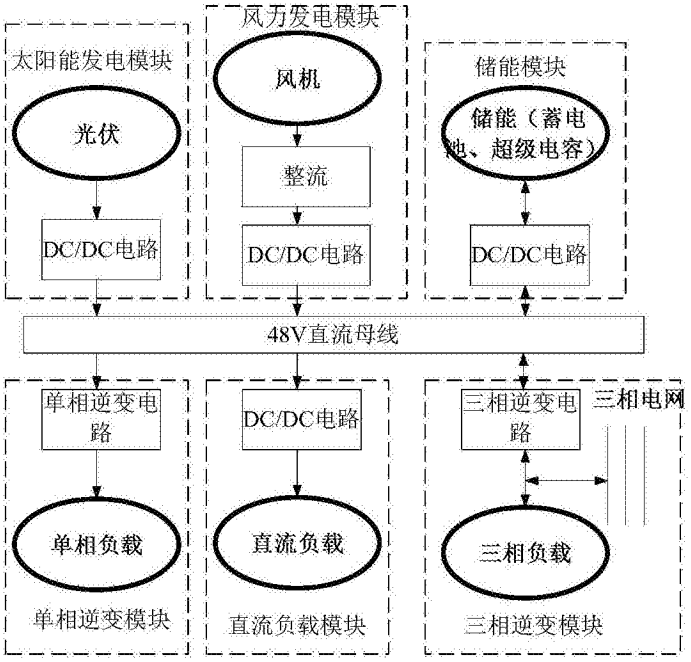

风力发电模块
太阳能发电模块
风机
储能模块
光伏
储能（蓄电池、超级电容）
整流
DC/DC电路
DC/DC电路
DC/DC电路
48V直流母线
单相逆变电路
DC/DC电路
三相逆变电路
三相电网
单相负载
直流负载
三相负载
单相逆变模块
直流负载模块
三相逆变模块

图 1

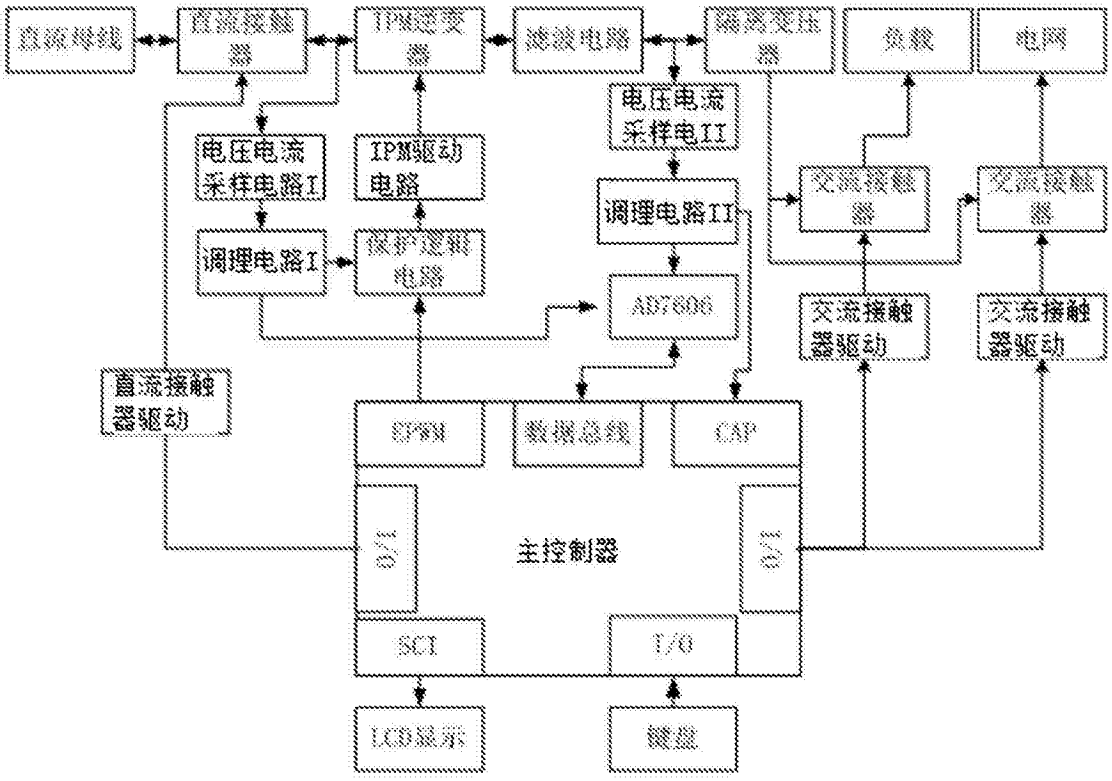

直流母线
直流接触器
IPM逆变器
滤波电路
隔离变压器
负载
电网
电压电流采样电路I
IPM驱动电路
电压电流采样电II
调理电路II
交流接触器
交流接触器
调理电路I
保护逻辑电路
AD7606
交流接触器驱动
交流接触器驱动
直流接触器驱动
EPWM
数据总线
CAP
I/O
主控制器
I/O
SCI
I/O
LCD显示
键盘

图 2

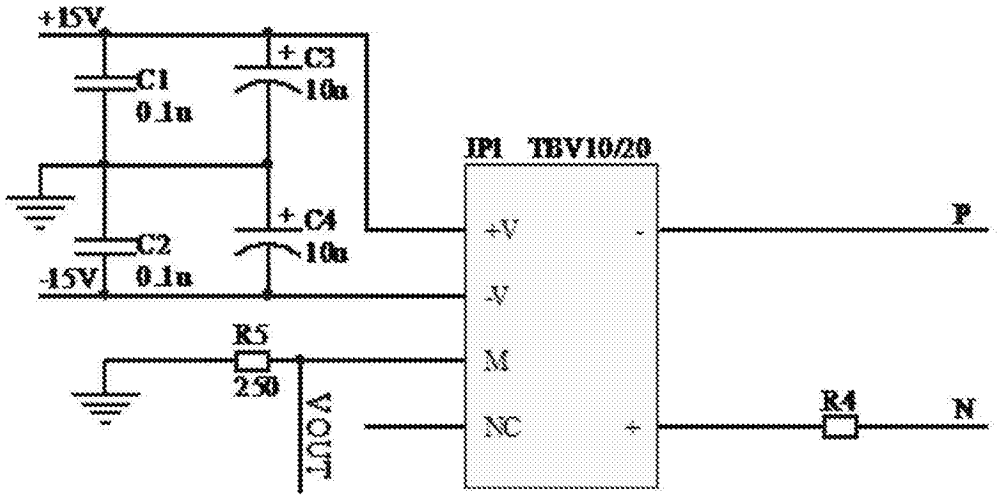

+15V
C1
0.1u
+C3
10u
IP1 TBV10/20
+V
-V
M
NC
P
N
R4
+C4
10u
C2
-15V
0.1u
R5
250
VOUT

图 3

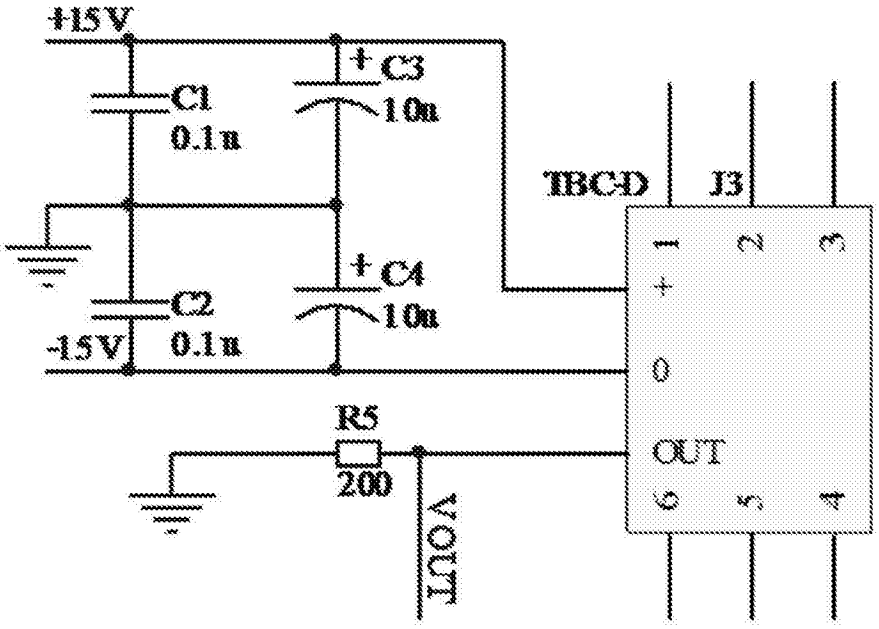

+15V
C1
0.1u
+C3
10u
TBC-D
J3
1
2
3
+
0
OUT
6
5
4
+C4
10u
C2
-15V
0.1u
R5
200
VOUT

图 4

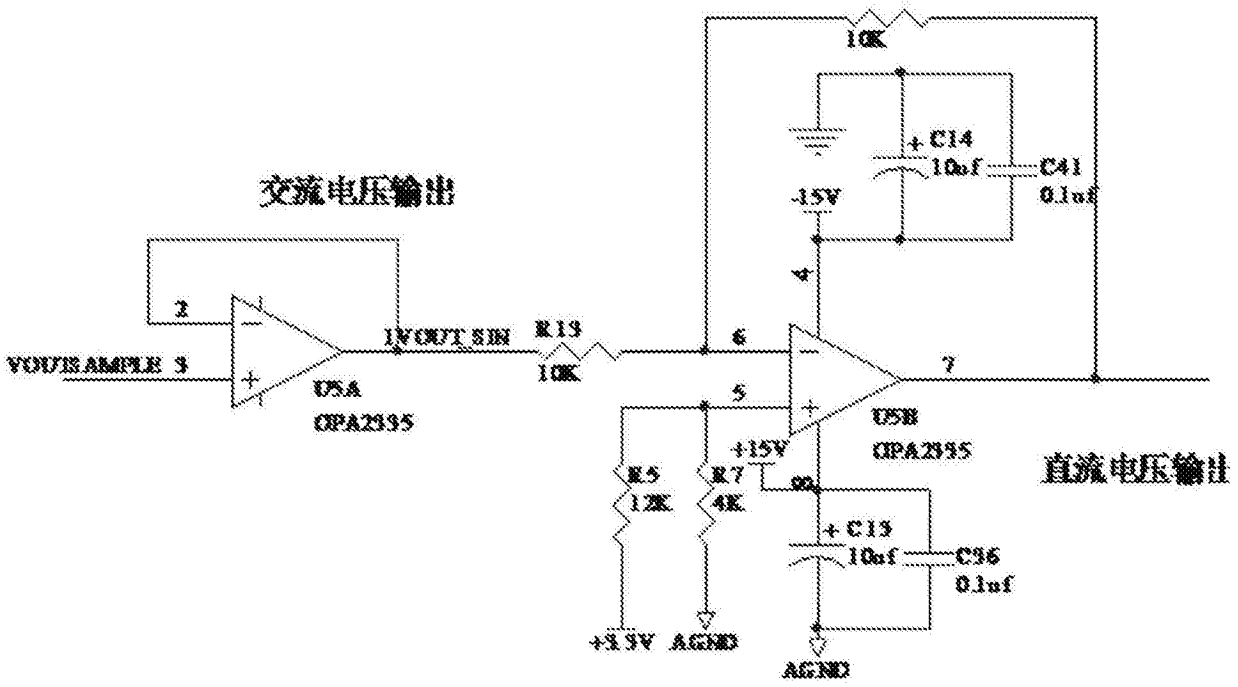

10K
+ C14
10uf
C41
0.1uf
交流电压输出
-15V
4
2
1VOUT_SIN
R13
10K
6
7
VOUTSAMPLE 3
U5A
OPA2335
5
U5B
OPA2335
直流电压输出
+15V
R5
12K
R7
4K
8
+ C13
10uf
C36
0.1uf
+3.3V
AGND
AGND

图 5

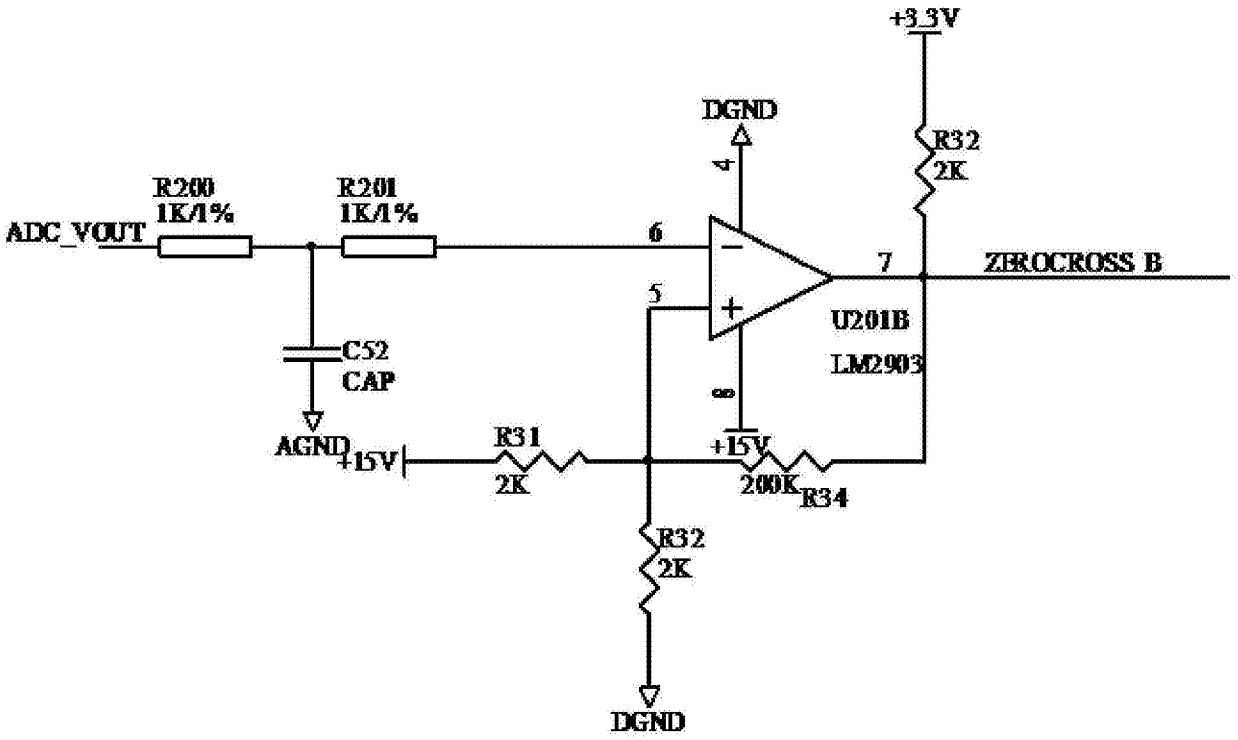

+3.3V
DGND
4
R32
2K
R200
1K/1%
R201
1K/1%
ADC_VOUT
6
7
ZEROCROSS B
5
U201B
LM2903
8
C52
CAP
AGND
+15V
R31
2K
+15V
200K
R34
R32
2K
DGND

图 6

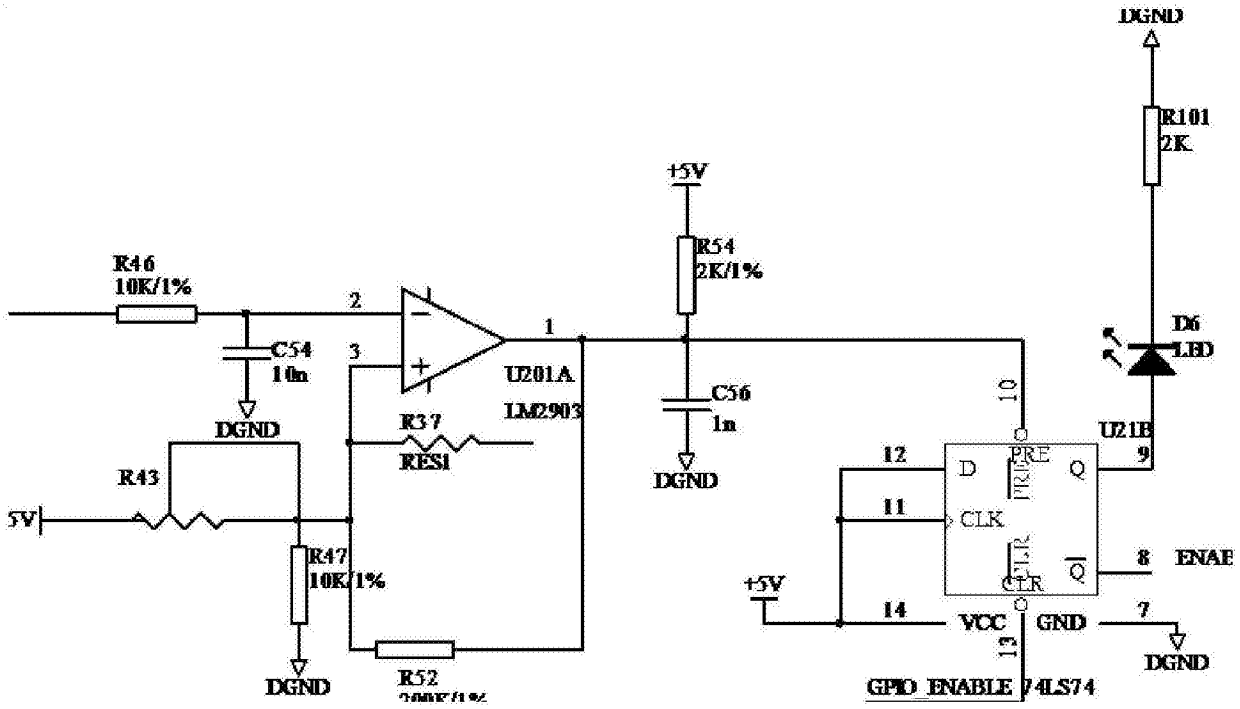

DGND
R101
2K
+5V
R54
2K/1%
R46
10K/1%
2
1
C54
10n
3
U201A
LM2903
C56
1n
D6
LED
DGND
R37
RES1
10
U21B
R43
12
D
PRE
Q
9
5V
11
CLK
R47
10K/1%
CLR
Q
8
ENAE
+5V
14
VCC
GND
7
13
DGND
R52
DGND
GPIO_ENABLE
74LS74

图 7

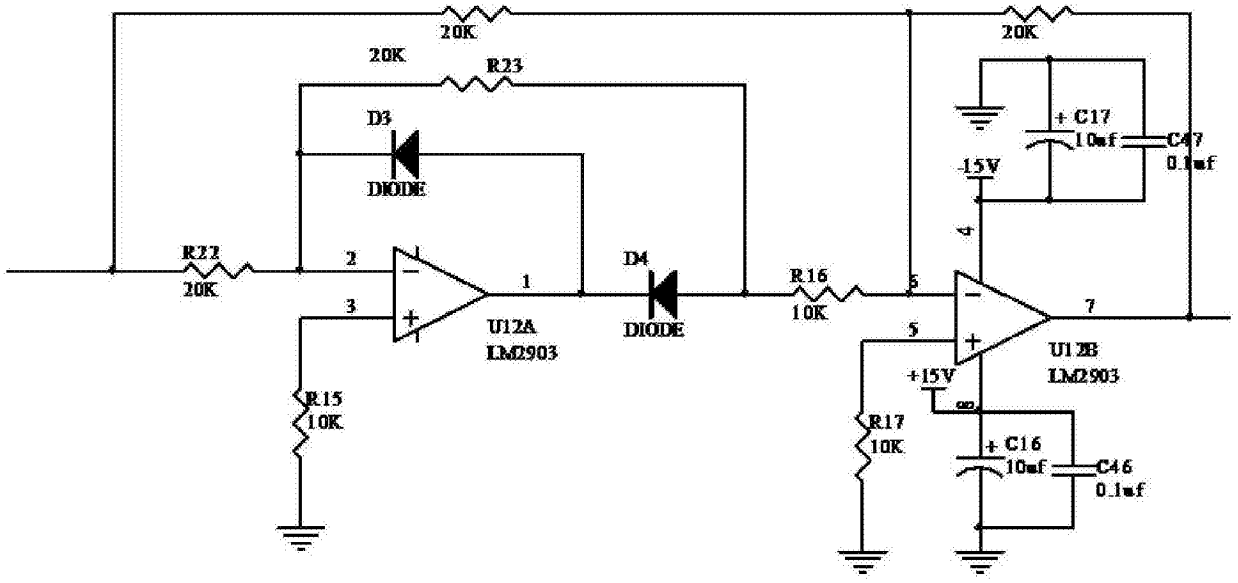

20K
20K
20K
R23
D3
DIODE
+ C17
10uf
C47
0.1uf
-15V
4
R22
20K
2
1
D4
R16
10K
6
3
U12A
LM2903
DIODE
5
7
U12B
LM2903
+15V
8
R15
10K
R17
10K
+ C16
10uf
C46
0.1uf

图 8

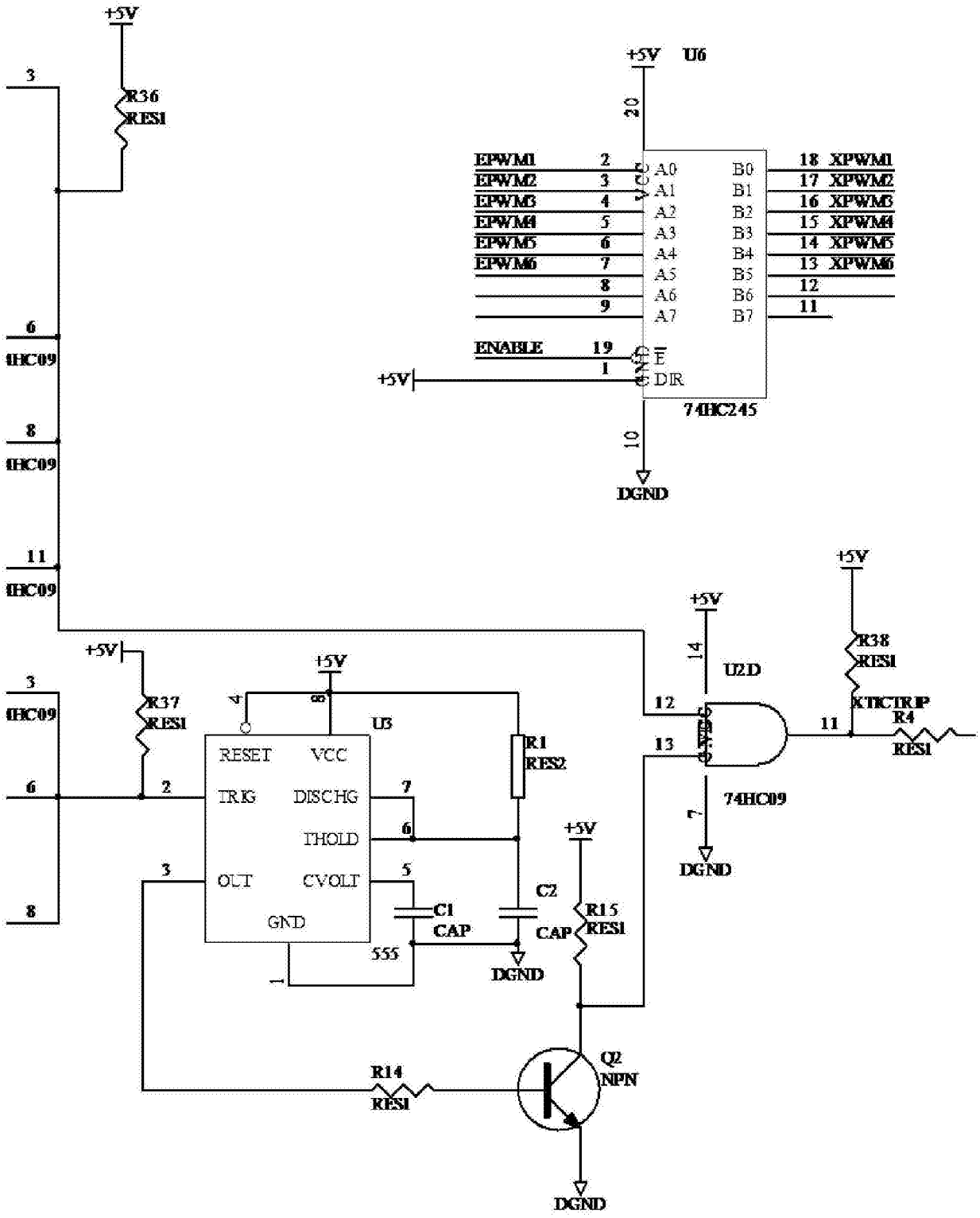

+5V
R36
RES1
3
6
4HC09
8
4HC09
11
4HC09
+5V U6
20
EPWM1 2
EPWM2 3
EPWM3 4
EPWM4 5
EPWM5 6
EPWM6 7
8
9
ENABLE 19
1
A0 A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7
B0 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7
18 XPWM1
17 XPWM2
16 XPWM3
15 XPWM4
14 XPWM5
13 XPWM6
12
11
E
DIR
74HC245
10
DGND
+5V
+5V
R37
RES1
3
4HC09
6
8
U3
RESET VCC
TRIG DISCHG
THOLD
OUT CVOLT
GND
4
8
2
7
6
5
1
3
R1
RES2
C1
CAP
C2
CAP
555
DGND
+5V
R15
RES1
R14
RES1
Q2
NPN
DGND
+5V
14
U2D
12
13
11
74HC09
7
DGND
+5V
R38
RES1
XTICTRIP
R4
RES1

图 9

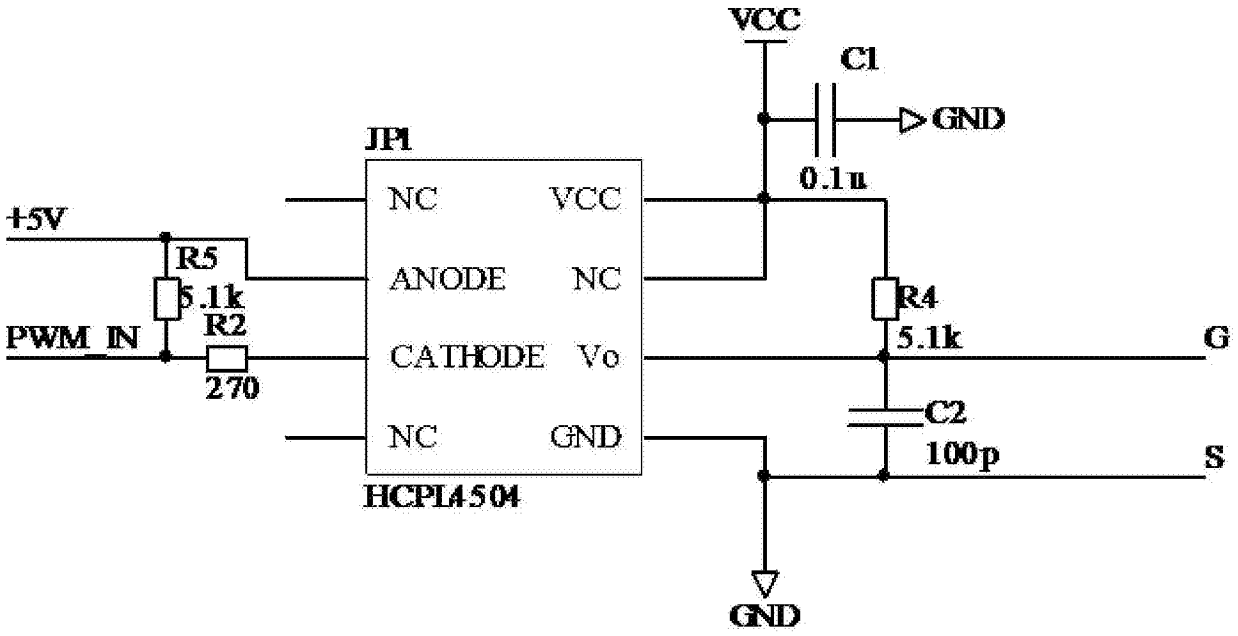

VCC
C1
GND
0.1u
JP1
NC
VCC
+5V
R5
5.1k
ANODE
NC
R4
5.1k
G
PWM_IN
R2
270
CATHODE
Vo
C2
100p
S
NC
GND
HCPL4504
GND

图 10

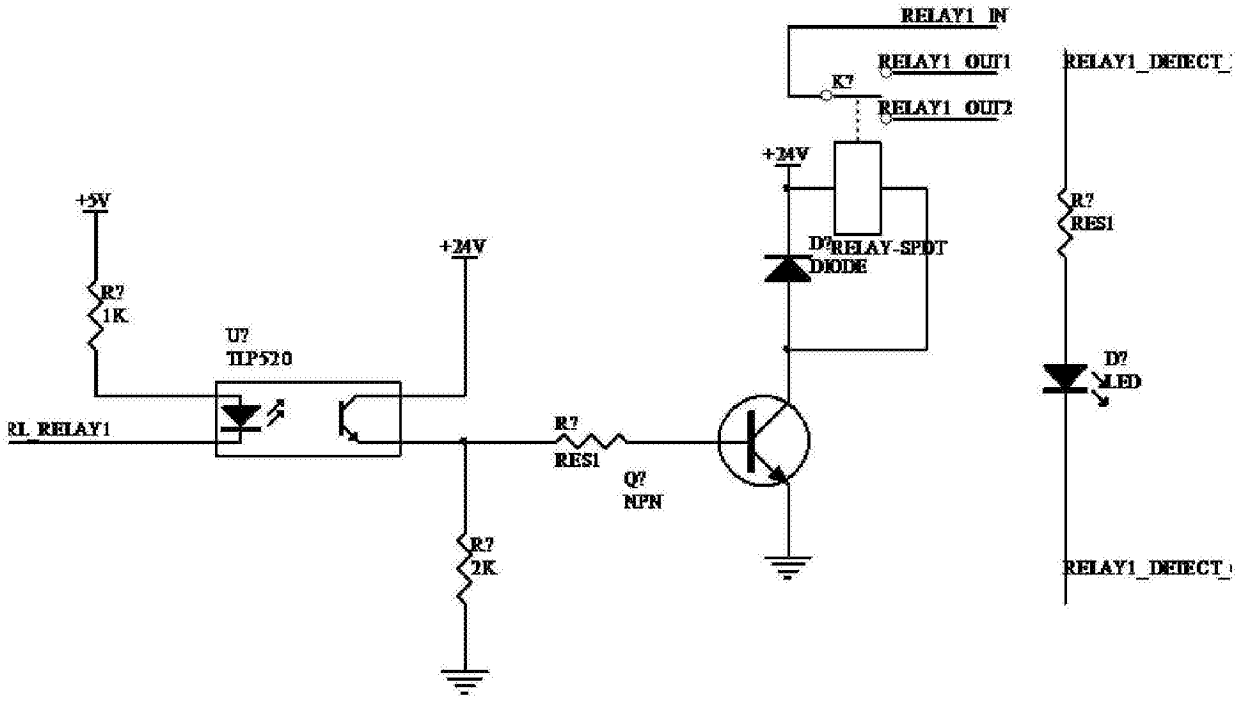

RELAY1_IN
RELAY1_OUT1
RELAY1_DETECT_
K?
RELAY1_OUT2
+24V
+5V
R?
RES1
D?
RELAY-SPDT
DIODE
+24V
R?
1K
U?
TLP520
D?
LED
RL_RELAY1
R?
RES1
Q?
NPN
R?
2K
RELAY1_DETECT_

图 11