

AT32系列微控制器低压电机控制开发板用户手册

前言

本用户手册主要介绍雅特力AT32系列微控制器低压电机控制开发板的使用。

支持型号列表：

支持型号	AT32F4xx, AT32L0xx
------	--------------------

目录

1	概述.....	6
2	系统软硬件需求.....	7
3	启动程序	8
4	硬件说明与组态设定	9
4.1	开发板系统架构图.....	9
4.2	连接器与跳线位置.....	9
4.3	跳线设定	10
4.4	CN 接线端子.....	11
4.4.1	CN1 接线端子(电源接口).....	11
4.4.2	CN2 接线端子(JTAG)	11
4.4.3	CN3 接线端子(AT-Link)	11
4.4.4	CN4 接线端子(USB).....	12
4.4.5	CN5 接线端子(电机接口).....	12
4.4.6	CN6 接线端子(刹车接口).....	12
4.4.7	排针接线端子	12
4.5	测试点说明	13
5	硬件电路说明	15
5.1	增量编码器电路	15
5.2	霍尔传感器电路	15
5.3	电流检测电路.....	16
5.3.1	相电流检测电路	16
5.3.2	直流母线电流检测电路	16
5.4	过电流(OCP)检测电路	17
5.4.1	三相过电流检测电路.....	17
5.4.2	母线过电流检测电路.....	17

5.5	母线电压检测电路.....	18
5.6	三相输出端电压检测电路.....	18
5.7	功率级电路.....	19
5.7.1	三相全桥换流器电路.....	19
5.7.2	刹车电路.....	20
5.8	通讯电路.....	20
5.9	电位器输入接口.....	21
6	电路图.....	22
6.1	系统电源.....	22
6.2	MCU 界面.....	23
6.3	USB/UART 转换接口.....	24
6.4	Hall / Encoder 电路.....	25
6.5	功率级电路.....	26
6.6	电压回馈电路.....	27
6.7	电流回馈电路.....	28
6.8	其它电路.....	29
7	布线图.....	30
7.1	组件位置图.....	30
7.2	顶层布线图.....	31
7.3	底层布线图.....	32
8	零件列表.....	33
9	版本历史.....	37

表目录

表 1. 跳线设定说明表	10
表 2. CN1 接线端子说明表	11
表 3. CN2 接线端子说明表	11
表 4. CN3 接线端子说明表	11
表 5. CN4 接线端子说明表	12
表 6. CN5 接线端子说明表	12
表 7. CN6 接线端子说明表	12
表 8. 排针接线端子说明表	12
表 9. 测试点列表	13
表 10. 文档版本历史	37

图目录

图 1. 低压电机控制开发板	6
图 2. 开发板系统架构图	9
图 3. 开发板连接器与跳线位置图	10
图 4. 增量编码器电路图	15
图 5. 霍尔传感器电路图	16
图 6. 相电流检测回馈电路图	16
图 7. 直流母线电流检测回馈电路图	17
图 8. 相电流过电流检测电路图	17
图 9. 母线过电流检测电路图	18
图 10. 母线电压检测电路图	18
图 11. 输出端电压检测电路图	19
图 12. 虚拟中性点比较器电路图	19
图 13. V 相半桥功率转换电路	20
图 14. 刹车电路图	20
图 15. UART 串行接口电路图	21
图 16. 电位器输入接口电路图	21

1 概述

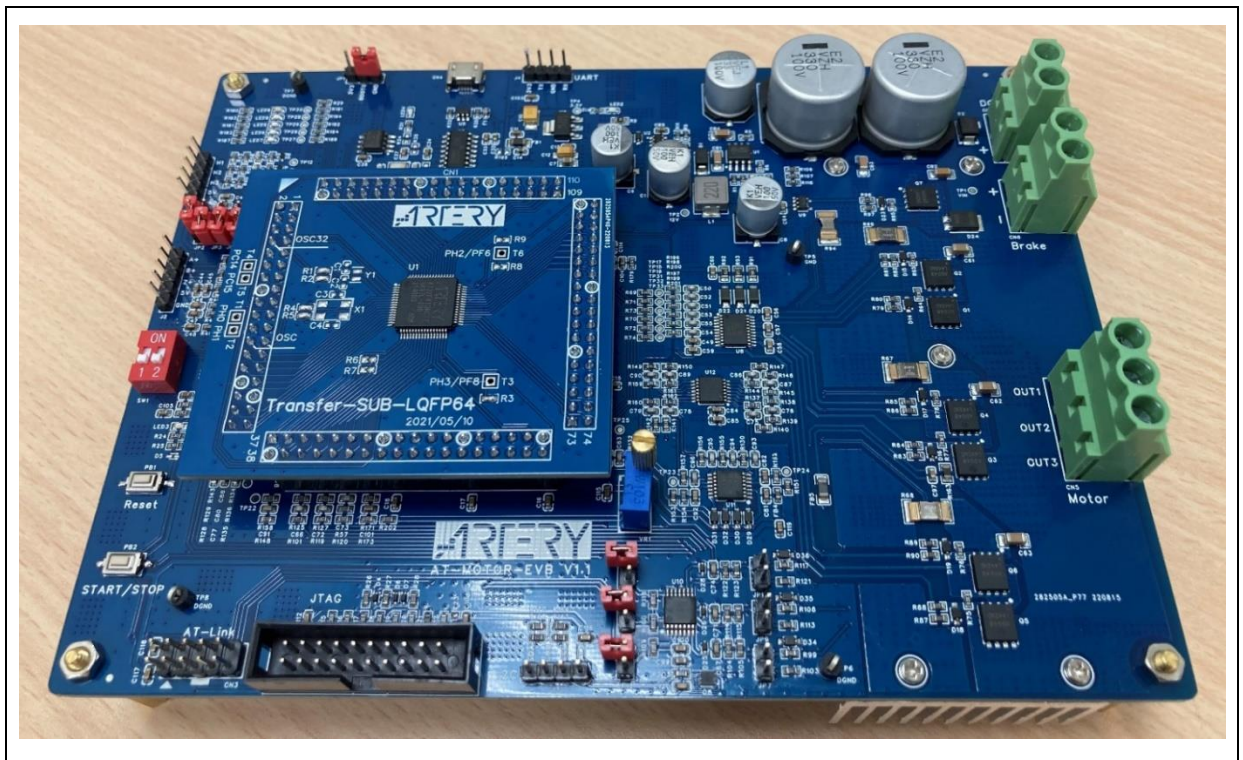
- 此电机开发板是一个泛用型的低压三相电机驱动器，应用雅特力科技AT32系列微控制器搭配雅特力电机函数库，可驱动直流无刷电机、交流同步电机，以及异步电机
- 具备一个微控制器转接插座，可使用不同的AT32系列微控制器，执行电机控制算法
- 提供霍尔信号接口、增量编码器接口可回馈转子位置，进行有位置传感器的电机向量控制驱动或六步方波驱动
- 具备刹车电阻接口，可应用于高动态响应控制时的动态刹车功能
- 具备三相输出端电压检测连接至ADC，以及虚拟中性点电路和比较器电路，可实现多种直流无刷电机(BLDC)六步方波无位置传感器驱动应用
- 具备3个相电流检测电阻与1个直流地端母线电流检测电阻，可应用三电阻、两电阻电流检测，以及单电阻电流检测等三种电流检测方式
- 内建相电流与母线电流的过电流比较电路
- 可执行有位置传感器与无位置传感器等磁场导向(field-oriented)向量控制法则(vector control algorithm) 驱动三相交流电机
- 可实现许多家用、商用以及工业用等产品的电机控制应用技术
- 输入电压/输出电流规格

输入电压：12V~60V

最大输出相电流：30A_{PEAK}

过电流保护点：45A_{PEAK}

图 1. 低压电机控制开发板



2 系统软硬件需求

- 一台搭载Windows® (Windows 8, Windows 10, Windows 11)个人计算机，以安装用户控制接口程序
- 一条micro-B USB线连接开发板与个人计算机，以进行通讯
- 雅特力AT-Link烧录器或其它第三方烧录器
- 雅特力AT32电机控制展示项目程序
- 一台三相交流电机，额定电压须于12V~60V范围，额定电流须小于30A
- 一台直流电源

3 启动程序

电机开发板额定规格

- 输入电压：12V~60V
- 最大输出相电流：30A_{PEAK}
- 过电流保护点：45A_{PEAK}

启动步骤

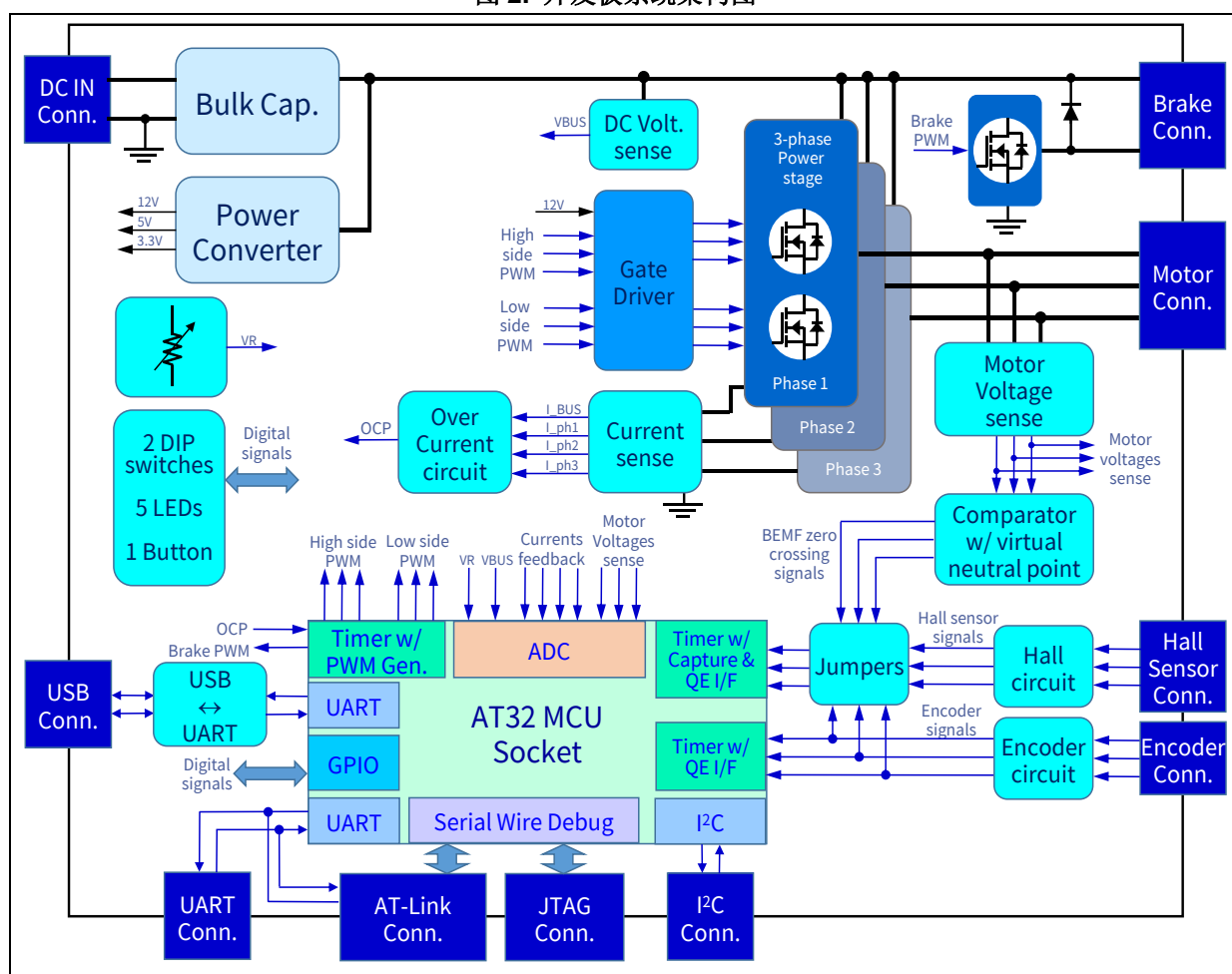
- 1) 检查跳线位置是否设定正确。(参看4.3 跳线设定)
- 2) 连接AT-Link烧录器到CN3或JTAG烧录器到CN2
- 3) 烧录雅特力AT32电机控制展示程序
- 4) 使用micro-B USB线连接UART转USB接口(CN4)与PC USB 接口
- 5) 连接电机三相接线到CN5，UVW三相分别接到OUT1, OUT2和OUT3
- 6) 调整直流电源电压/电流设定，并将输出连接到CN1后启动电源，LED1 (12V电源指示灯)与LED2(3.3V电源指示灯)将亮起
- 7) 操做雅特力电机监控(ArteryMotorMonitor)软件，设定参数并控制电机运转

4 硬件说明与组态设定

4.1 开发板系统架构图

下图为低压电机控制开发板的系统架构图，其中AT32 MCU 插槽可搭配转接板，使用不同的AT32系列微控制器。由MCU的PWM发生器控制三相全桥电力电路以及刹车电路。电力电路输出端设计有分压电路，可回馈输出端电压，并提供与虚拟中性点比较的电路，可回馈直流无刷电机未激磁相的反电势零交越点。开发板并设有霍尔信号接口与编码器接口，可回馈转子位置。在命令输入接口部分，除具有USB转UART界面、UART界面以及I²C接口外，并提供一个电位器模拟输入接口，可改变电位器电阻分压，输出电压命令由ADC读取。此外，有两个指拨开关以及一个按钮开关，可提供程序做控制模式设定，并提供5个LED指示灯，其中包含一个错误指示灯。

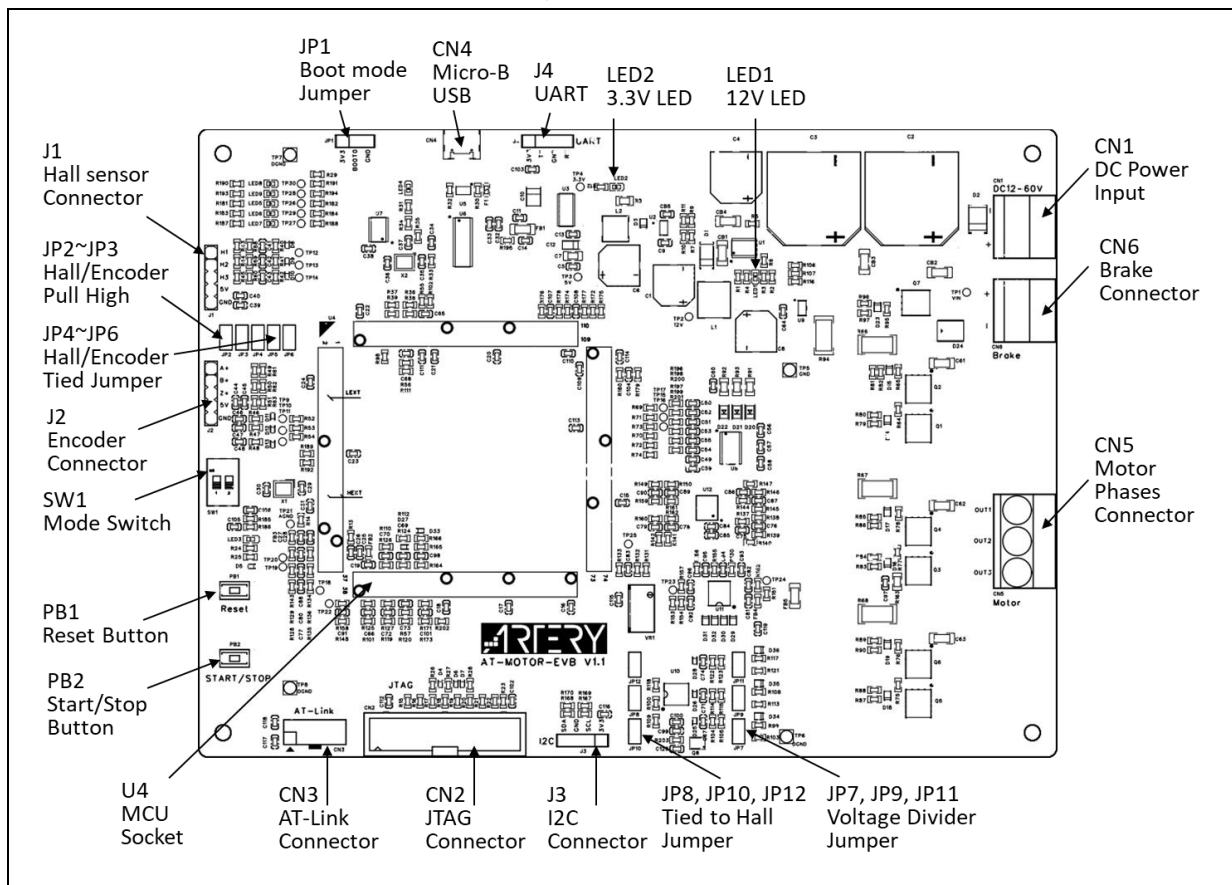
图 2. 开发板系统架构图



4.2 连接器与跳线位置

开发板连接器与跳线位置如下图

图 3. 开发板连接器与跳线位置图



4.3 跳线设定

表 1. 跳线设定说明表

跳线编号	设定说明	预设状态
JP1	选择Boot0接脚连接VCC(1-2)或GND(2-3)	2-3
JP2	将Hall sensor信号连接至VCC上拉电阻	CLOSED
JP3	将Encoder信号连接至VCC上拉电阻	OPEN
JP4	将Encoder A信号连接至MCU端的Hall信号接脚H1	OPEN
JP5	将Encoder B信号连接至MCU端的Hall信号接脚H2	OPEN
JP6	将Encoder Z信号连接至MCU端的Hall信号接脚H3	OPEN
JP7	BEMF1分压电阻并联选择，可多一个电阻并联，降低分压值	OPEN
JP8	将BEMF1比较信号输出连接至MCU端的Hall信号接脚H1	OPEN
JP9	BEMF2分压电阻并联选择，可多一个电阻并联，降低分压值	OPEN
JP10	将BEMF2比较信号输出连接至MCU端的Hall信号接脚H2	OPEN
JP11	BEMF3分压电阻并联选择，可多一个电阻并联，降低分压值	OPEN
JP12	将BEMF3比较信号输出连接至MCU端的Hall信号接脚H3	OPEN

4.4 CN 接线端子

4.4.1 CN1 接线端子(电源接口)

CN1为开发板电源输入端子，输入电压范围12V~60V。

表 2. CN1 接线端子说明表

接脚	标签	说明
1	-	电源输入负端
2	+	电源输入正端

4.4.2 CN2 接线端子(JTAG)

CN2为20-pin JTAG烧录接口，可提供第三方烧录器由此烧录程序与程序擦除。

表 3. CN2 接线端子说明表

接脚	说明	接脚	说明
1	Volt Target ref	2	Volt supply
3	nTRST	4	GND
5	TDI	6	GND
7	TMS (SWDIO)	8	GND
9	TCK (SWCLK)	10	GND
11	RTCK	12	GND
13	TDO (SWO)	14	GND
15	nSRST (NRST)	16	GND
17	NC	18	GND
19	NC	20	GND

4.4.3 CN3 接线端子(AT-Link)

CN3为10-pin AT-Link烧录界面，可使用雅特力AT-Link烧录器烧录程序与程序擦除。

表 4. CN3 接线端子说明表

接脚	说明	接脚	说明
1	3.3V supply	2	5.0V supply
3	TMS (SWDIO)	4	BOOT0
5	TCK (SWCLK)	6	TDO (SWO)
7	NRST	8	UART_RX
9	GND	10	UART_TX

4.4.4 CN4 接线端子(USB)

CN4为Micro-B接口，开发板上内建UART转USB接口电路，可由此接口与外部USB接口进行串行通讯。

表 5. CN4 接线端子说明表

接脚	说明	接脚	说明
1	5V	2	D-
3	D+	4	ID
5	GND		

4.4.5 CN5 接线端子(电机接口)

CN5为开发板连接电机三相电源线的接线端子。

表 6. CN5 接线端子说明表

接脚	标签	说明
1	OUT1	电机U相接线端子
2	OUT2	电机V相接线端子
3	OUT3	电机W相接线端子

4.4.6 CN6 接线端子(刹车接口)

CN6为开发板连接刹车电阻的接线端子，刹车电阻之阻值须根据外加电压值选择，使刹车电流小于40A，例如外加40V直流电源时，电阻之阻值须大于1Ω。

表 7. CN6 接线端子说明表

接脚	标签	说明
1	+	电源侧刹车接口
2	-	晶体管侧刹车接口

4.4.7 排针接线端子

表 8. 排针接线端子说明表

端子名称	接脚	标签	说明
J1	1	H1	霍尔传感器信号接脚 1
	2	H2	霍尔传感器信号接脚 2
	3	H3	霍尔传感器信号接脚 3
	4	5V	霍尔传感器5V供电接脚
	5	GND	霍尔传感器电源接地
J2	1	A+	增量编码器phase A信号接脚

端子名称	接脚	标签	说明
	2	B+	增量编码器phase B信号接脚
	3	Z+	增量编码器phase Z信号接脚
	4	5V	增量编码器5V供电接脚
	5	GND	增量编码器电源接地
J3	1	3V3	I2C 3.3V电源接脚
	2	SCL	I2C SCL信号接脚
	3	GND	I2C 电源接地
	4	SDA	I2C SDA信号接脚
J4	1	3V3	UART 3.3V电源接脚
	2	TX	UART TX信号接脚
	3	GND	UART 电源接地
	4	RX	UART RX信号接脚

4.5 测试点说明

表 9. 测试点列表

测点编号	说明
TP1	输入电压
TP2	12V电压
TP3	5V电压
TP4	3.3V电压
TP5	GND接地点
TP6,TP7,TP8	DGND数位接地点
TP9	ENCODER增量编码器A+信号
TP10	ENCODER增量编码器B+信号
TP11	ENCODER增量编码器Z+信号
TP12	HALL霍尔传感器H1信号
TP13	HALL霍尔传感器H2信号
TP14	HALL霍尔传感器H3信号
TP15	PWM2H信号
TP16	PWM3H信号
TP17	PWM1H信号
TP18	第二相电流经电流检测电阻与放大后的回馈信号
TP19	第三相电流经电流检测电阻与放大后的回馈信号
TP20	第一相电流经电流检测电阻与放大后的回馈信号

测点编号	说明
TP21	AGND模拟接地点
TP22	直流母线电流经电流检测电阻与放大后的回馈信号
TP23	直流母线电流过电流设定电压
TP24	相电流过电流设定电压
TP25	过电流急停保护BKIN信号
TP26	LED1状态显示信号
TP27	LED3状态显示信号
TP28	数字输出测试点信号
TP29	LED2状态显示信号
TP30	错误指示LED状态显示信号
TP31	PWM1L信号
TP32	PWM2L信号
TP33	PWM3L信号

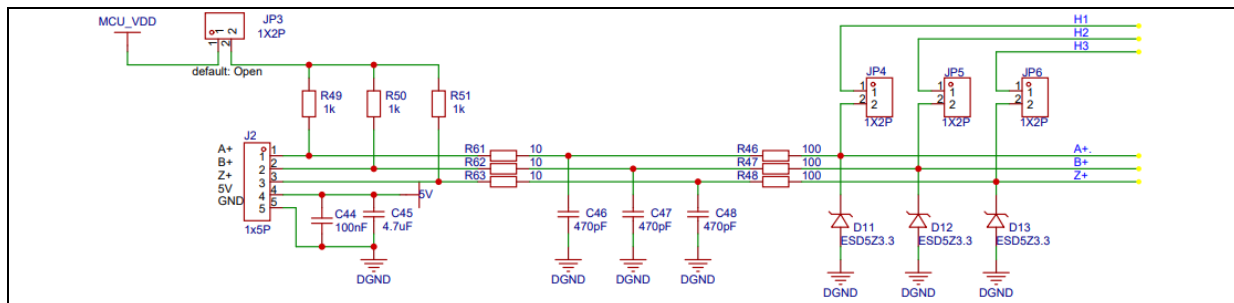
5 硬件电路说明

- 具备三相全桥电力开关电路可驱动三相电机，并包含一个刹车电阻电路，可由外加电阻消耗回生电能
- 设计有两组降压(BUCK)转换器分别可将输入直流电压降为12V，提供闸极驱动芯片控制电压，以及将12V转换为5V，提供霍尔传感器与增量编码器装置电源，并有一个线性降压电路提供3.3V工作电源
- 提供增量编码器与霍尔传感器输入接口，可此回馈转子位置信息
- 设计有三电流检测电阻(current shunt)与电路回馈三相电流，以及于直流母线安装一电流检测电阻回馈母线电流，并可以实现单电阻电流检测控制法则
- 上述电流检测回馈电路均包含过电流保护(OCP)电路，并将输出连接至MCU以实现过流关断PWM的保护机制
- 包含三相端电压分压回馈电路，连接至MCU的ADC接脚，以及虚拟中性点电路和相电压极性判断电路，可用于六步方波电流无传感器(Sensorless)控制模式
- 具有直流输入电压分压回馈电路，用于检测直流母线电压，以及一个负温度系数电阻NTC构成的温度检测电路，回馈MOSFET晶体管温度
- 有一个RESET按钮，一个用户定义按钮，两个用户定义指拨开关，4个状态指示LED，一个错误指示LED
- 有一个电位器分压电路连接至MCU的ADC接脚，可由使用者定义用途
- 提供一个串行转Micro-B USB接口，方便与外部设备通讯，并有一个USB电源指示LED
- 提供一个I2C接口与一个UART串行接口
- 具备AT-Link烧录器接口，以及可使用第三方烧录器的JTAG接口

5.1 增量编码器电路

电路图如下图所示，若编码器为开漏模式，则可短接JP3将输入接脚连接1kΩ的上拉电阻。输入信号经10Ω电阻与470pF电容所构成的RC低通滤波器后连接至MCU。若所使用的MCU无电路所对应的外设接脚，可利用JP4 ~ JP6三个跳线连接至霍尔检测电路输出端，以使用另一组MCU定时器外设。

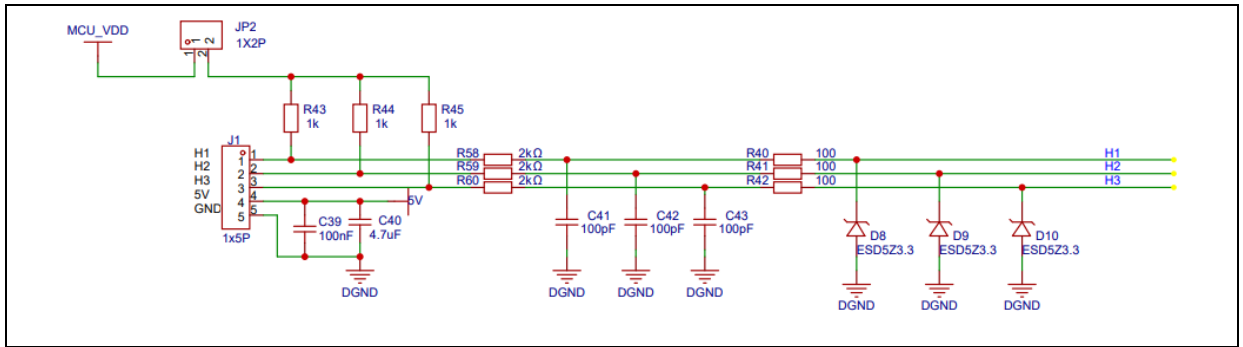
图 4. 增量编码器电路图



5.2 霍尔传感器电路

电路图如下图所示，一般霍尔传感器为开漏模式，故JP2跳线预设为短接，将输入接脚连接1kΩ的上拉电阻。输入信号经2kΩ电阻与100pF电容所构成的RC低通滤波器后连接至MCU。

图 5. 霍尔传感器电路图

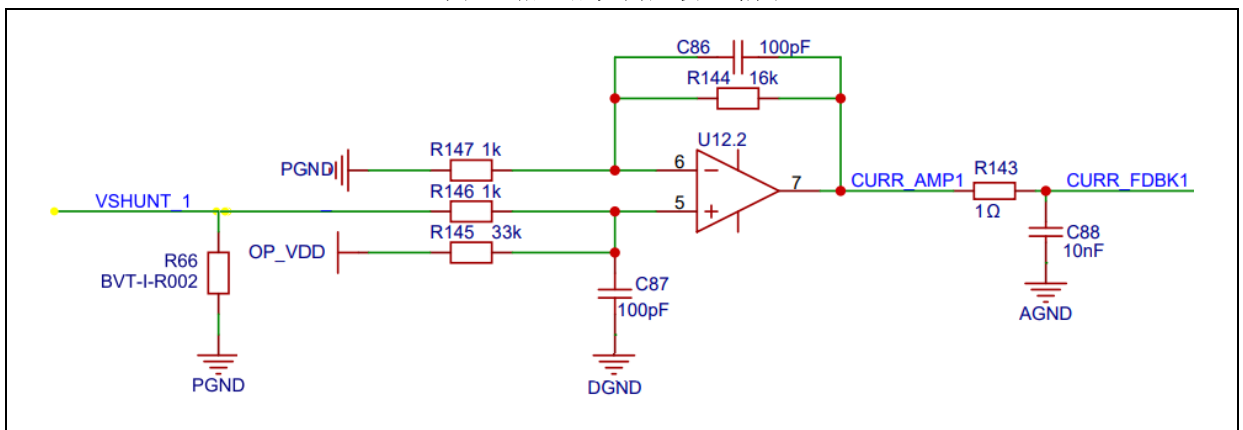


5.3 电流检测电路

5.3.1 相电流检测电路

电路图如下图所示，相电流经一个 $2\text{m}\Omega$ 电流检测电阻，再经放大电路放大16.5倍并将输出直流位准提升至1.65V，因此最大电流检测范围为 $\pm 50\text{A}_{\text{PEAK}}$

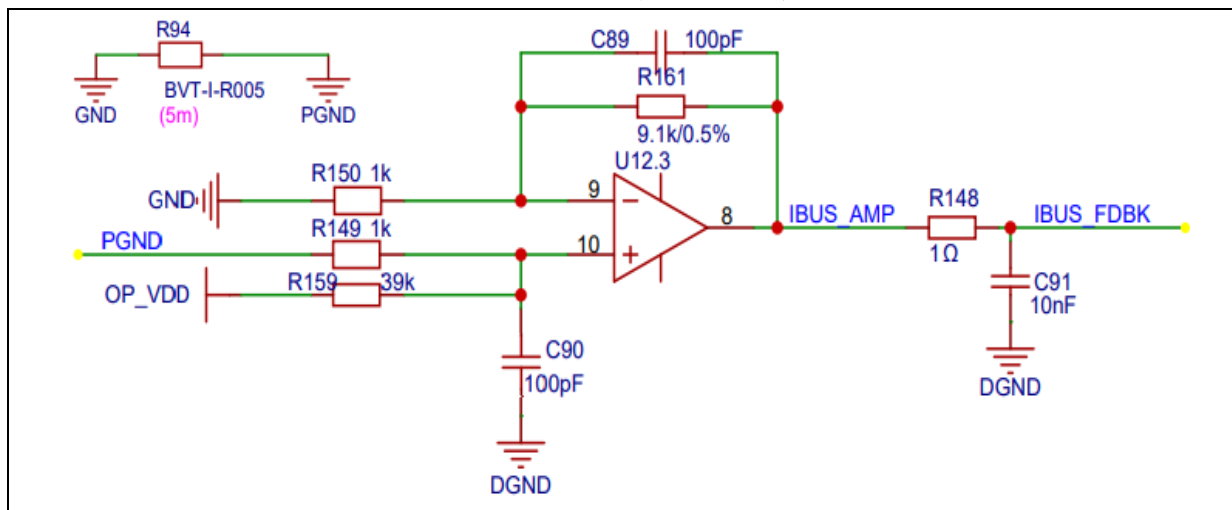
图 6. 相电流检测反馈电路图



5.3.2 直流母线电流检测电路

电路图如下图所示，母线电流经一个 $5\text{m}\Omega$ 电流检测电阻，再经放大电路放大9.85倍并将输出直流位准提升至0.833V，因此最大电流检测范围为 $-16.9\text{A}_{\text{PEAK}}$ 至 $50.1\text{A}_{\text{PEAK}}$

图 7. 直流母线电流检测回馈电路

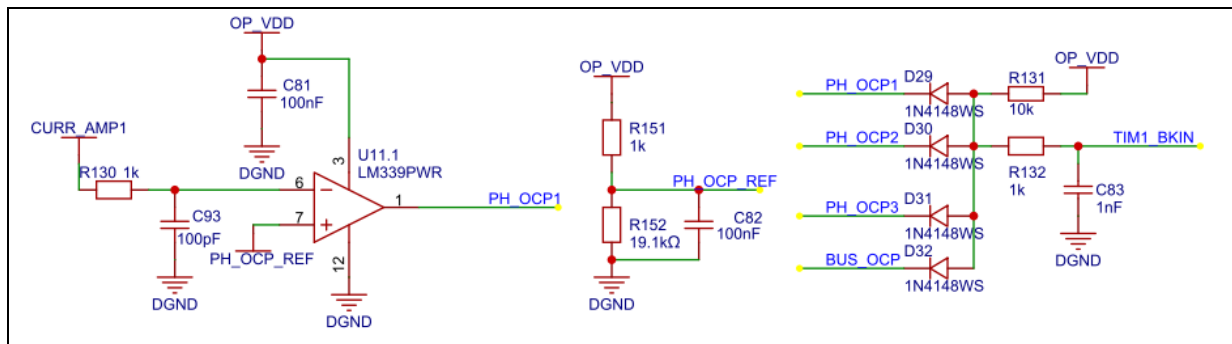


5.4 过电流(OCP)检测电路

5.4.1 三相过电流检测电路

三相过电流检测电路由3个比较器电路组成，如下图为其中一相保护电路，三相过电流保护电路包含一个过电流参考电压分压电路。保护电路将经放大器后的三相电流回馈信号与过电流参考电压比较，若回馈信号高于参考电压则比较器输出低电位，并连接至MCU的定时器BKIN接脚以停止PWM输出。依图中分压位准计算，相电流的过电流保护点为45A_{PEAK}

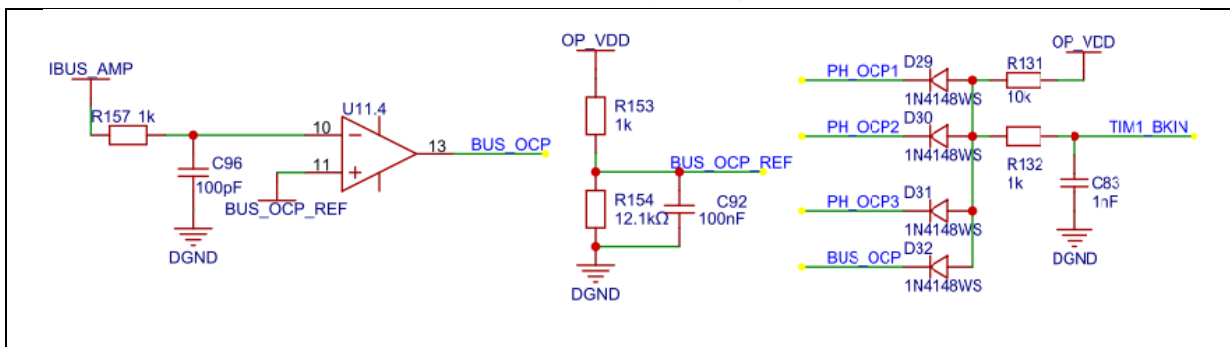
图 8. 相电流过电流检测电路



5.4.2 母线过电流检测电路

母线过电流检测电路由一个比较器电路组成，如下图为其保护电路，其中包含一个过电流参考电压分压电路。保护电路将经放大器后的母线电流回馈信号与过电流参考电压比较，若回馈信号高于参考电压则比较器输出低电位，并连接至MCU的定时器BKIN接脚以停止PWM输出。依图中分压位准计算，相电流的过电流保护点为45A_{PEAK}。

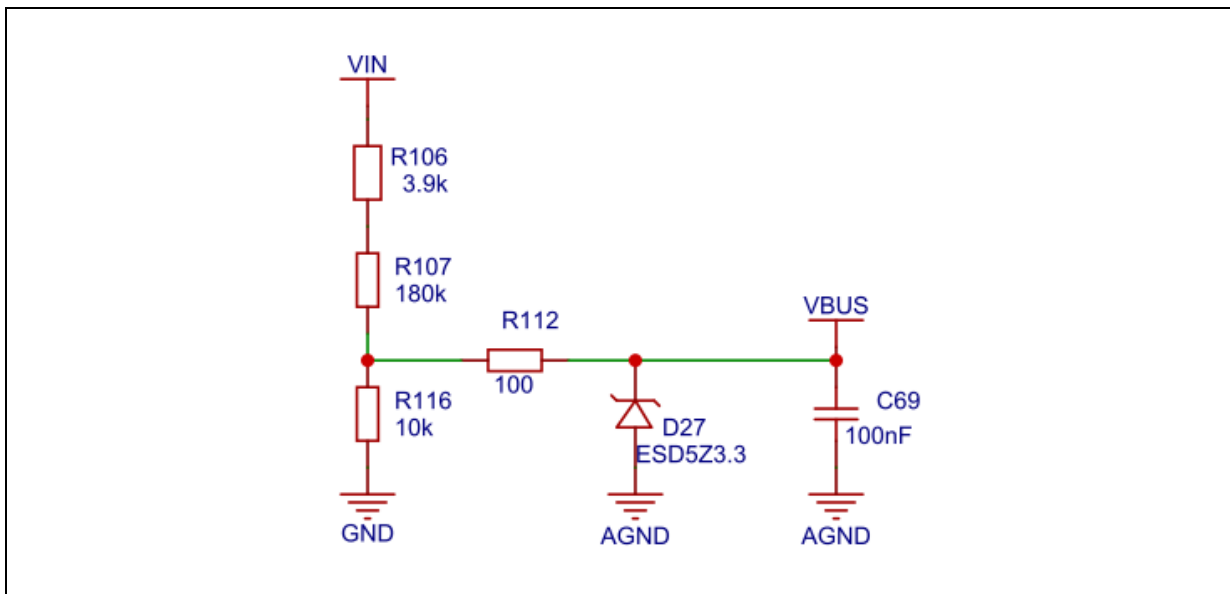
图 9. 母线过电流检测电路图



5.5 母线电压检测电路

母线电压检测电路由下图之分压电路构成，电路最大可侦测电压值为64V，根据母线电压回馈值可进行过电压与欠电压保护功能，若搭配三相脉波宽度调变量据计算，可推估驱动器输出电压值，用于无传感器控制时的反电势估算。

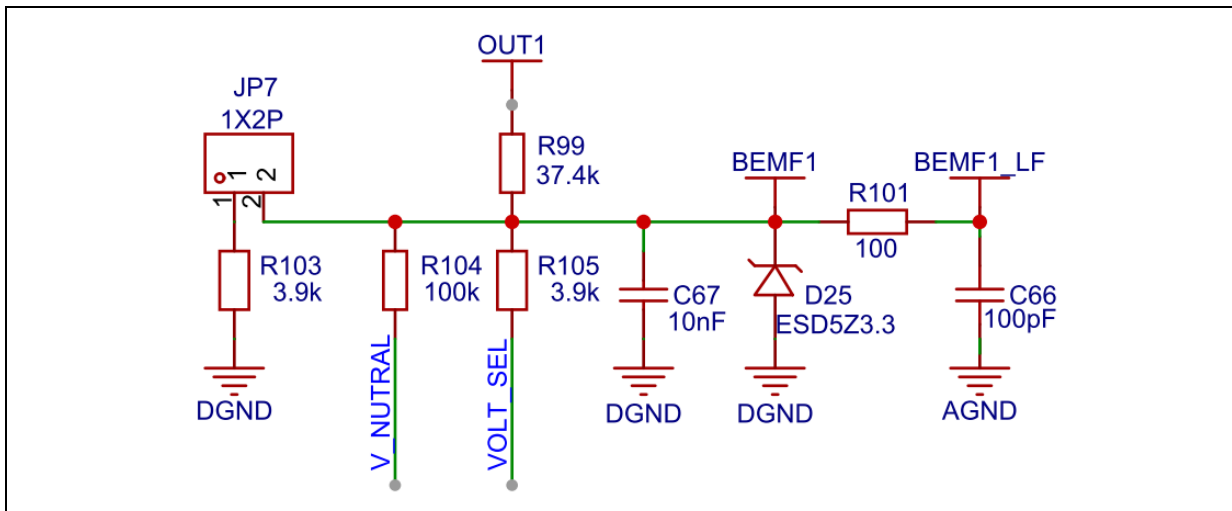
图 10. 母线电压检测电路图



5.6 三相输出端电压检测电路

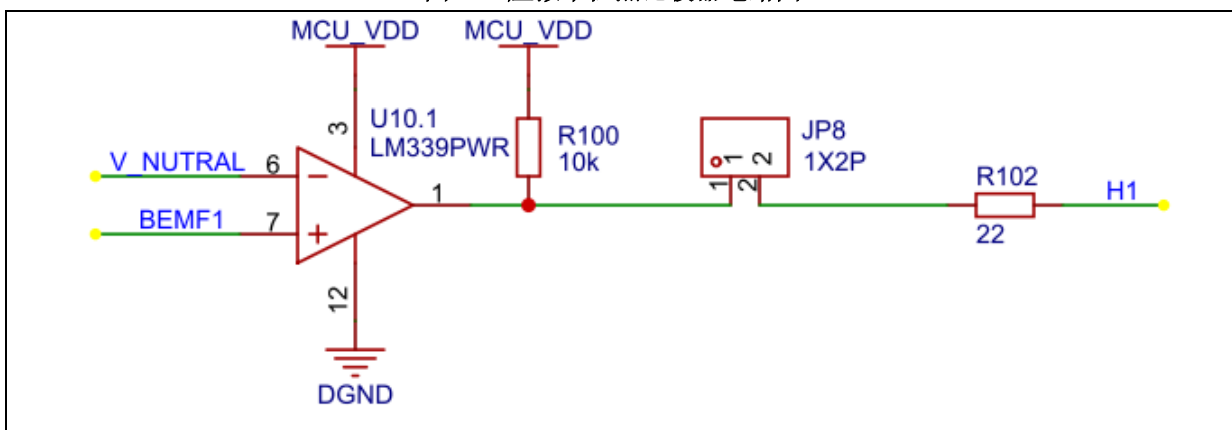
三相端电压检测电路如图11，经低通RC滤波器连接至MCU的ADC输入接脚，可量测以弦波驱动时的电机端电压，再整合电机电流信息，推估电机三相反电势；而于六步方波驱动控制时，可用以侦测开路相的反电势零交越点，根据PWM占空比大小，决定于PWM OFF或PWM ON期间侦测零交越点，当PWM占空比小时，可于PWM OFF期间侦测零交越点，反之当PWM占空比大时，可于PWM ON期间侦测零交越点，其中分压后的滤波电容可视实际控制需求变更或移除。

图 11. 输出端电压检测电路图



除了以ADC方式侦测开路相零交越点外，开发板亦提供虚拟中性点比较电路如下图，将三相分压后的电压信号分别经三个100k Ω 电阻连接在一起，获得虚拟中性点信号，再将三相端电压分别经比较器与虚拟中性点信号比较，根据比较器输出位准即可判断反电势零交越点。下图中将跳线连接即可将比较器信号连接至MCU的霍尔检测功能接脚。

图 12. 虚拟中性点比较器电路图

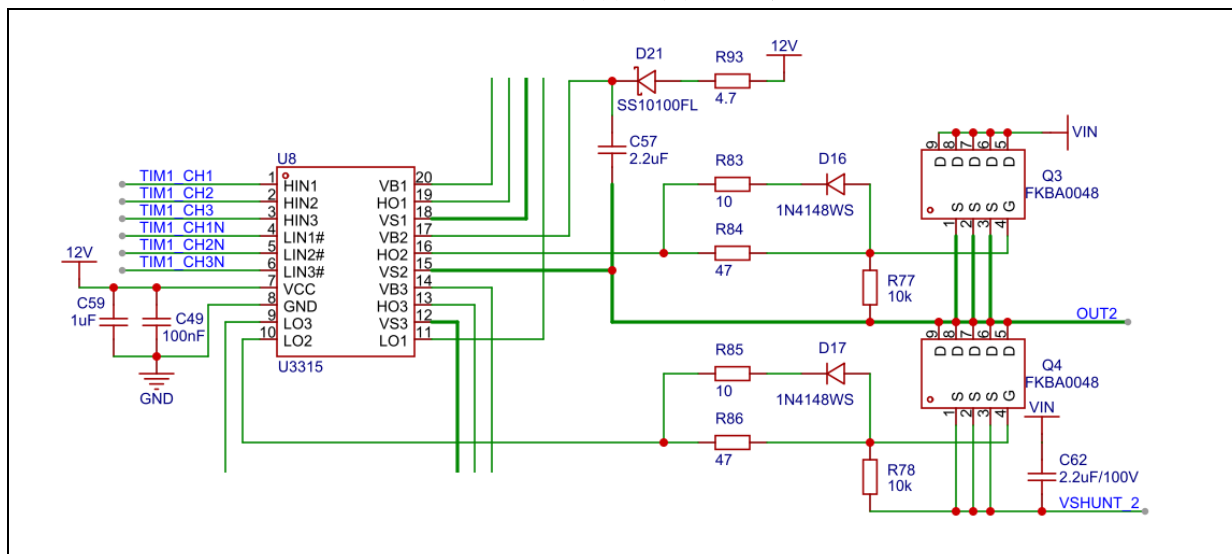


5.7 功率级电路

5.7.1 三相全桥换流器电路

三相全桥换流器电路由一个整合型三相全桥闸极驱动芯片、6颗100V/78A/8m Ω 采DFN5 \times 6-8包装 MOSFET，以及相关电路构成。下图为V相半桥功率转换电路，其中OUT2连接到CN5连接器之V相输出，连接电机V相线路。Q4 MOSFET源极输出V_SHUNT2会经电流检测电阻，以回馈V相电流。

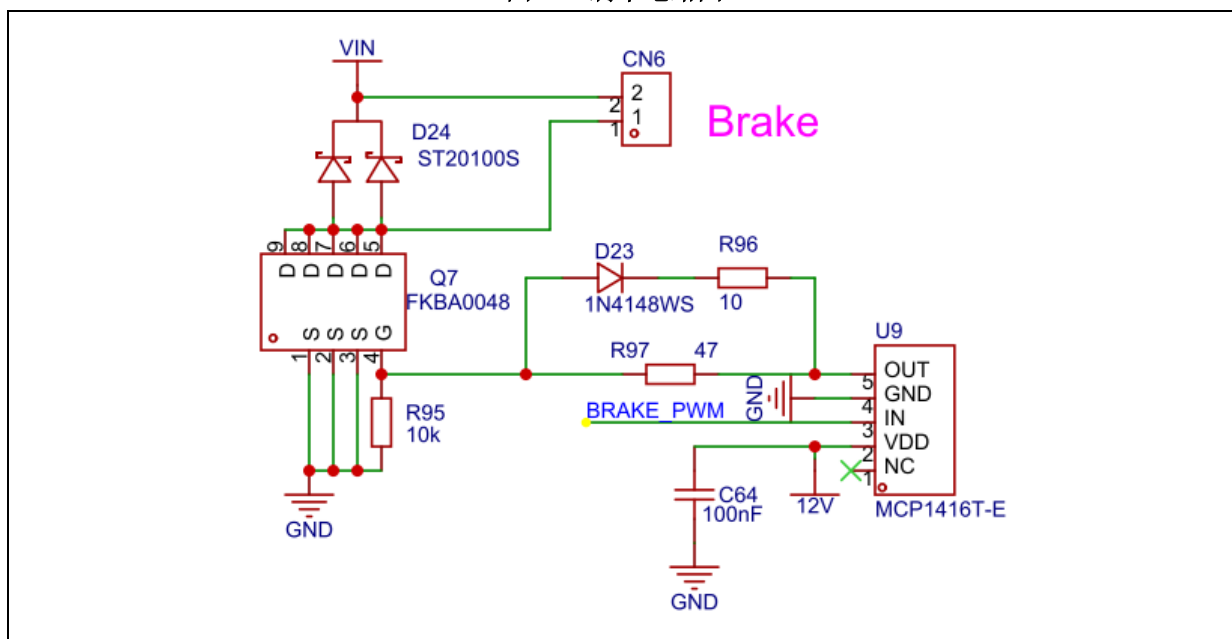
图 13. V 相半桥功率转换电路



5.7.2 刹车电路

刹车电路如下图所示。由CN6连接外部刹车电阻，驱动信号经U9栅极驱动器驱动Q7的MOSFET，将刹车电阻跨接于直流母线上消耗电机回生的能量。须注意刹车电阻的阻值选用必须使最大电流小于40A，例如母线电压为60V，则刹车电阻值不能小于 1.5Ω 。

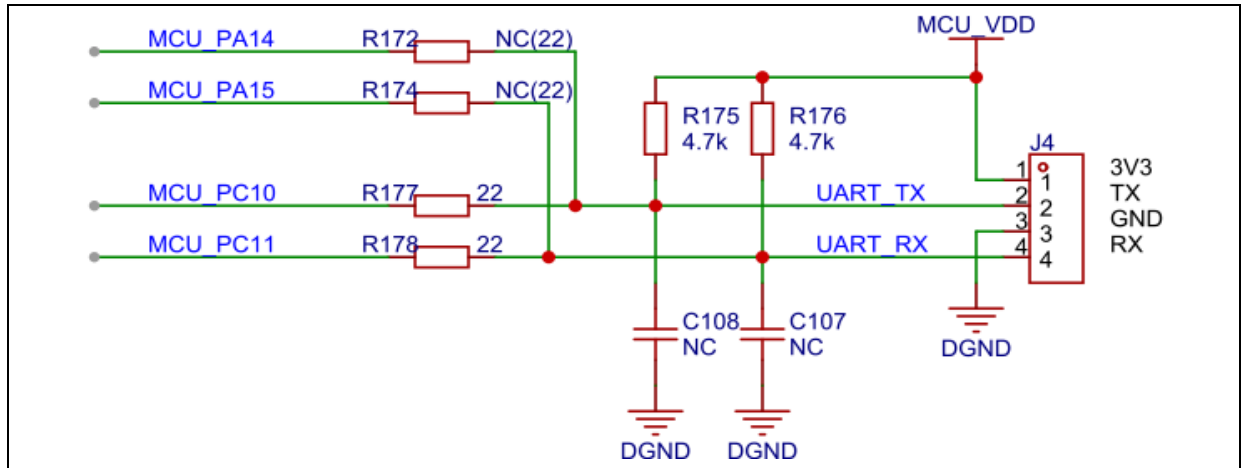
图 14. 刹车电路图



5.8 通讯电路

开发板上除了有一个串行转Micro-B USB接口外，另外提供一个I2C接口与一个UART串行接口，其中UART串行接口的信号接脚可依不同MCU调整，如下图所示。

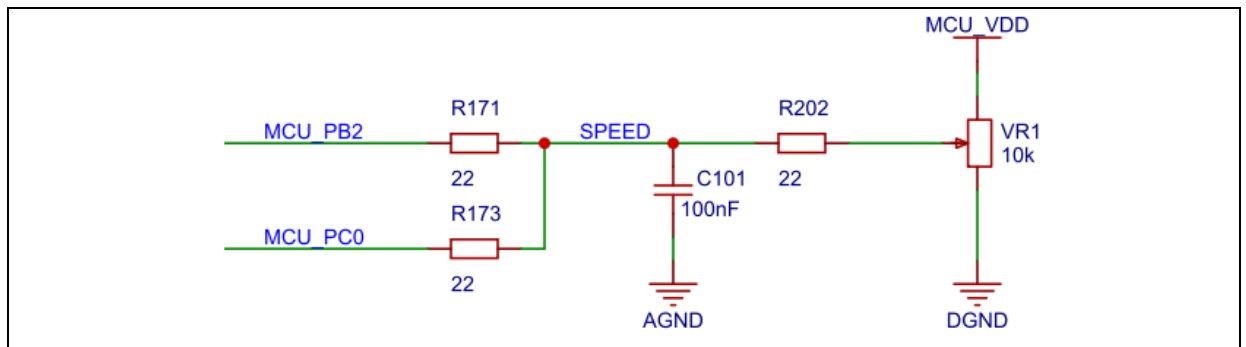
图 15. UART 串行接口电路图



5.9 电位器输入接口

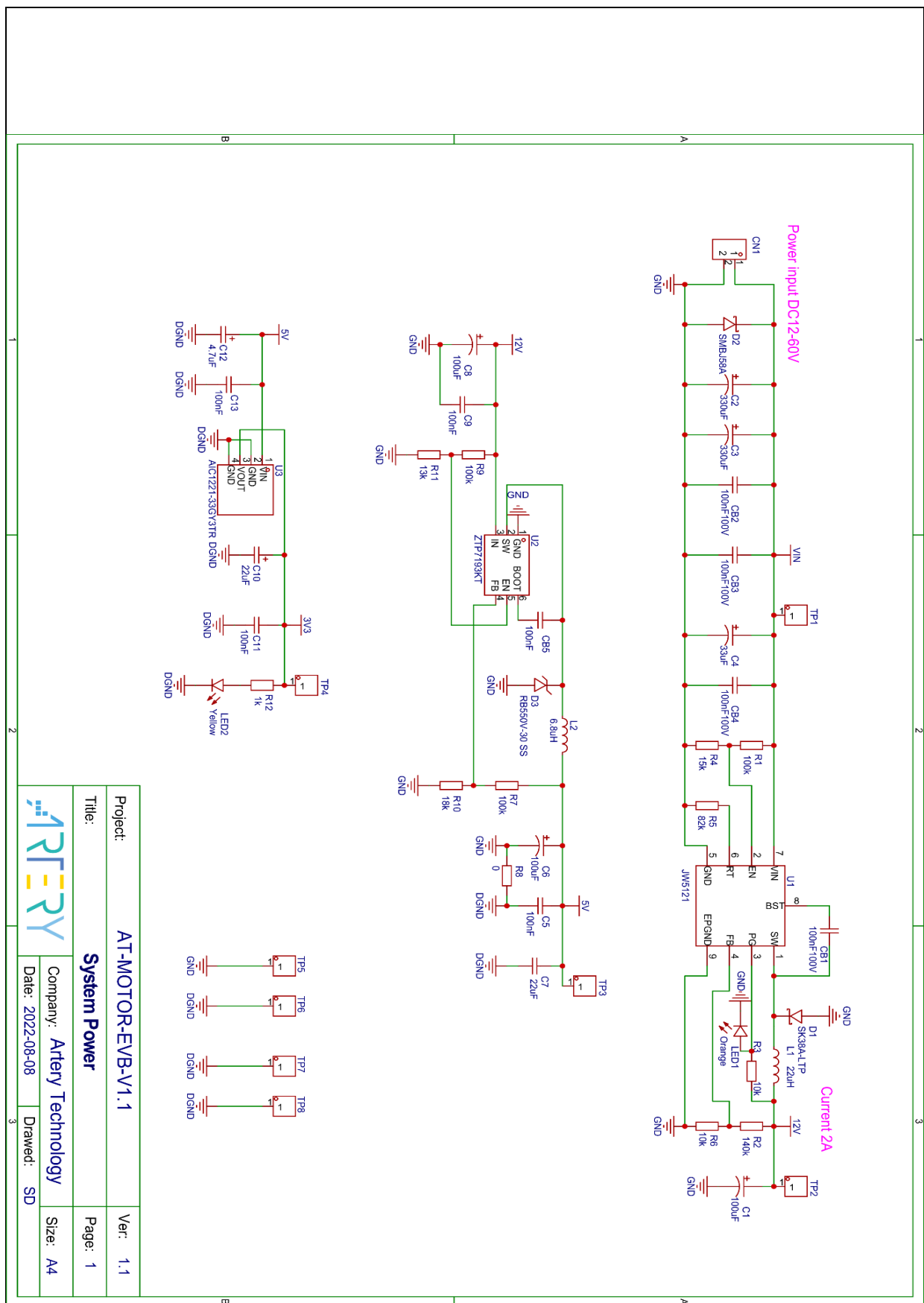
电路包含一个30转10kΩ的电位器，可依不同MCU调整连接至MCU ADC的接脚，其电路如下图所示。

图 16. 电位器输入接口电路图

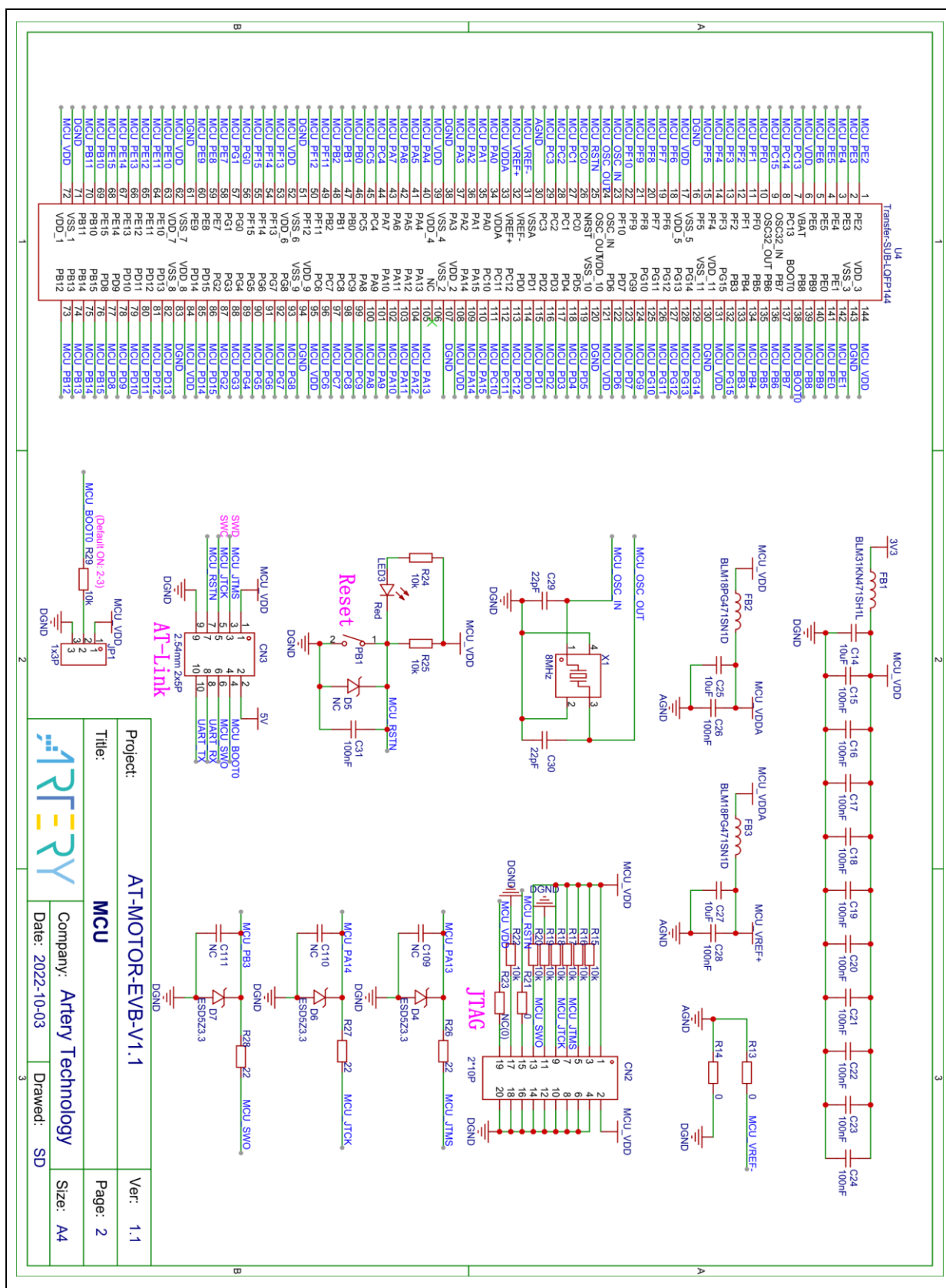


6 电路图

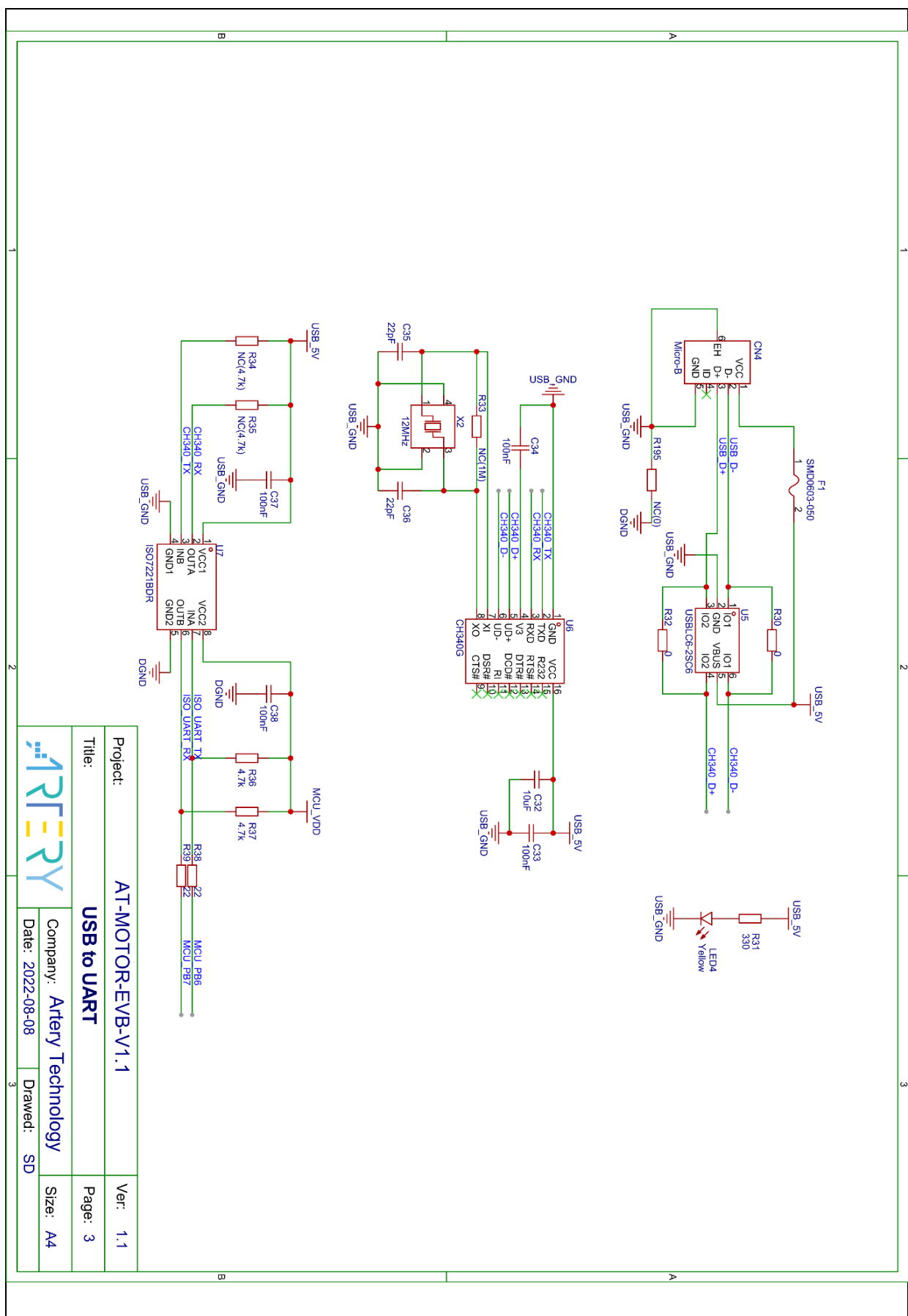
6.1 系统电源



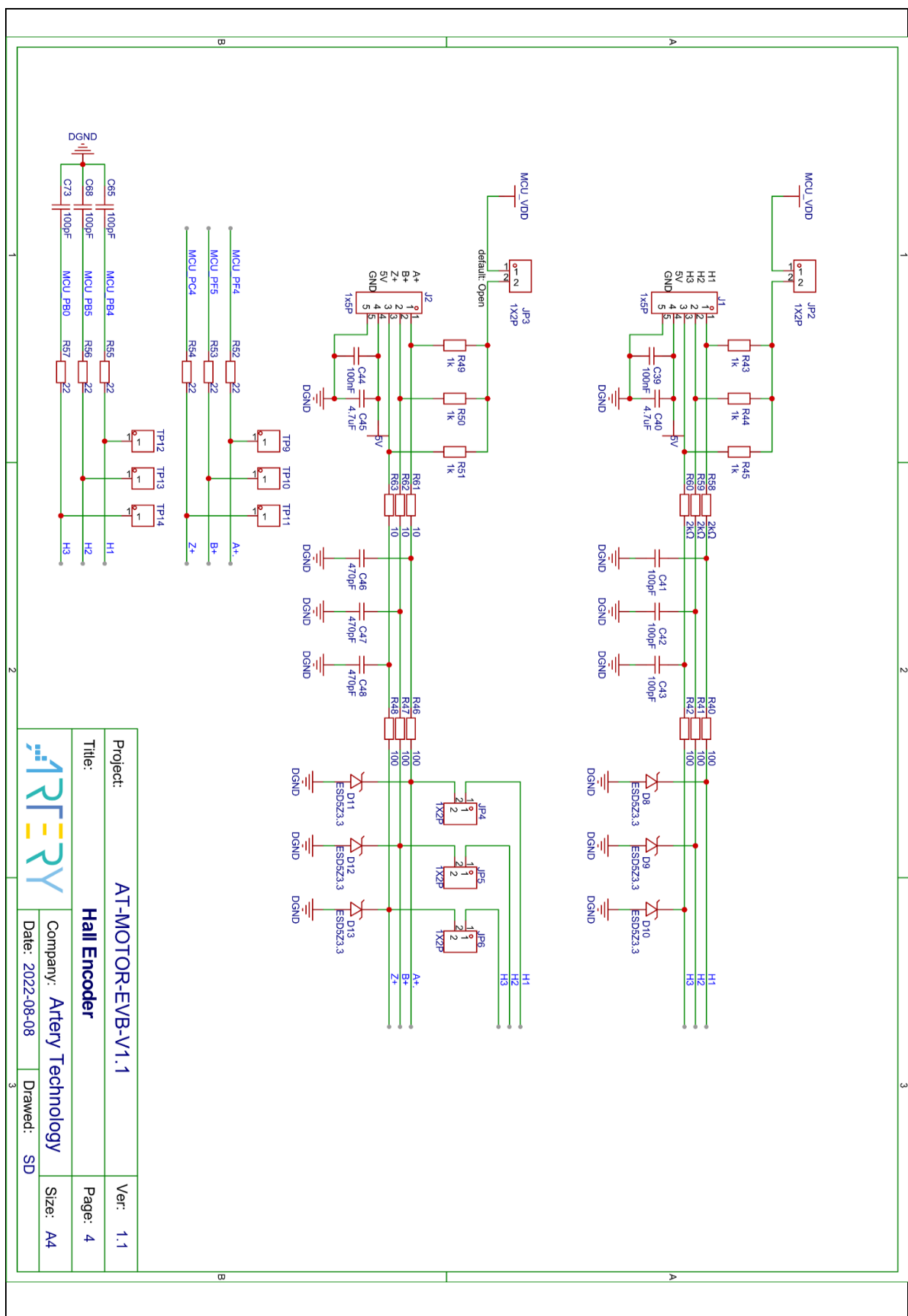
6.2 MCU 界面



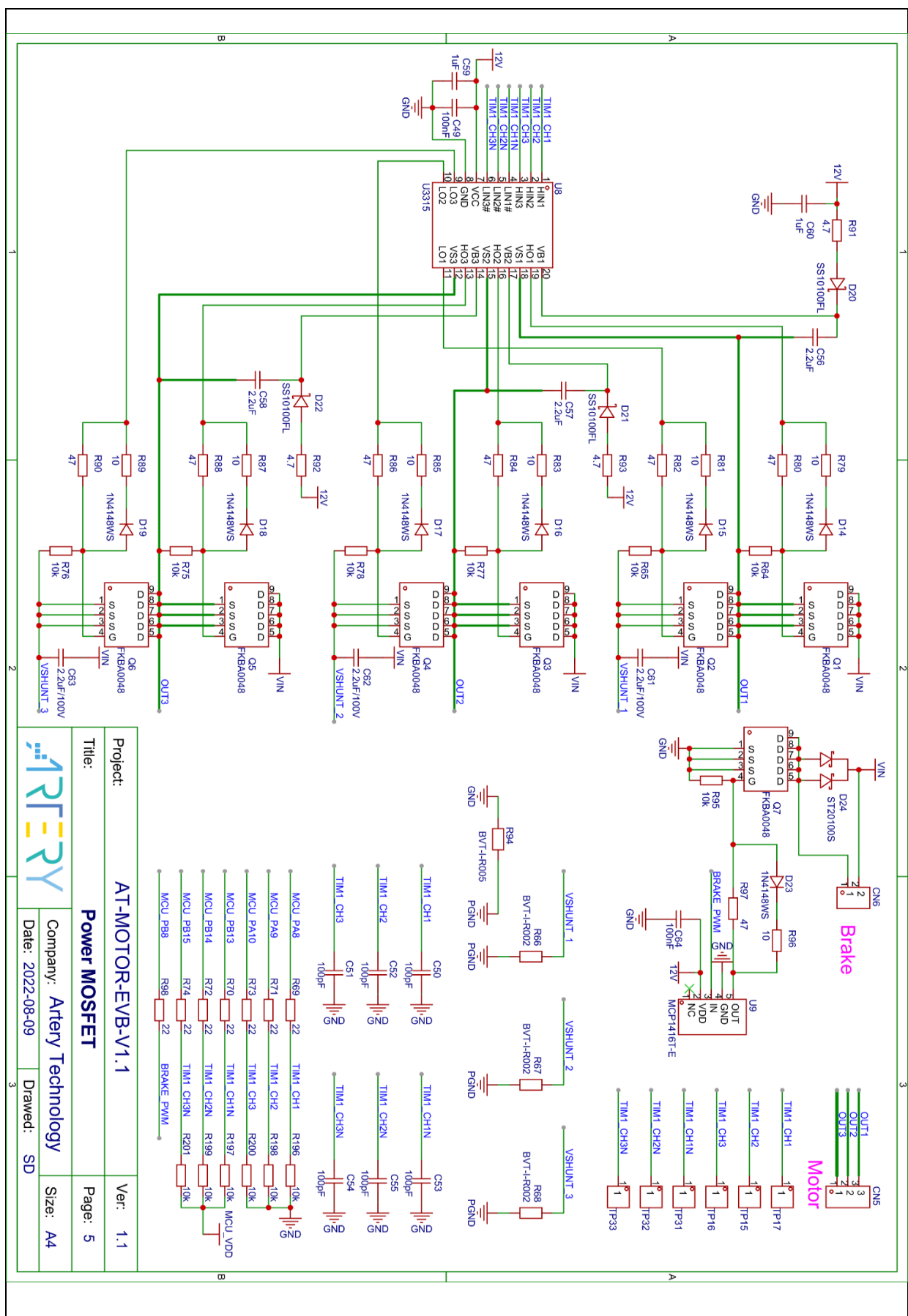
6.3 USB/UART 转换接口



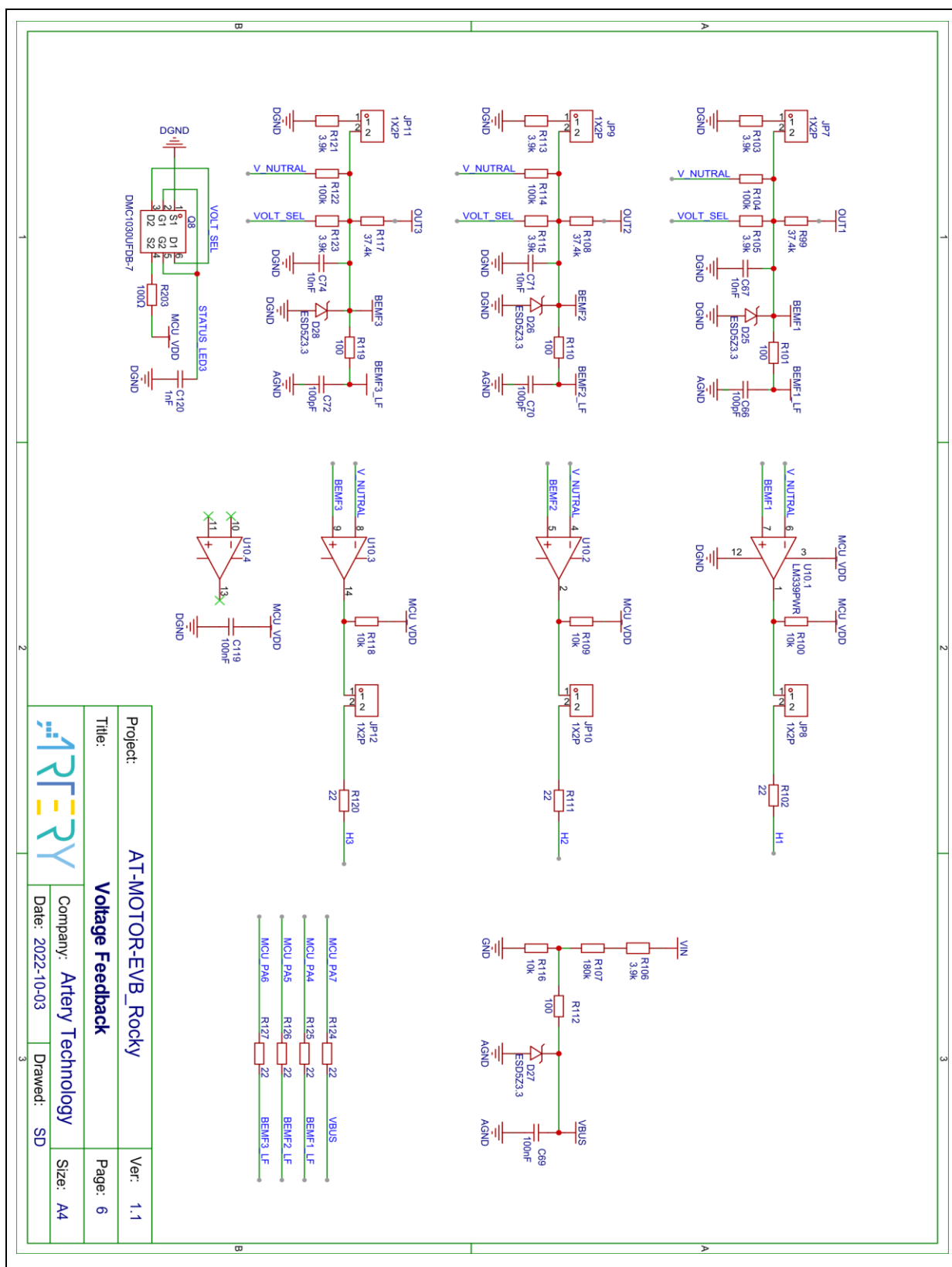
6.4 Hall / Encoder 电路



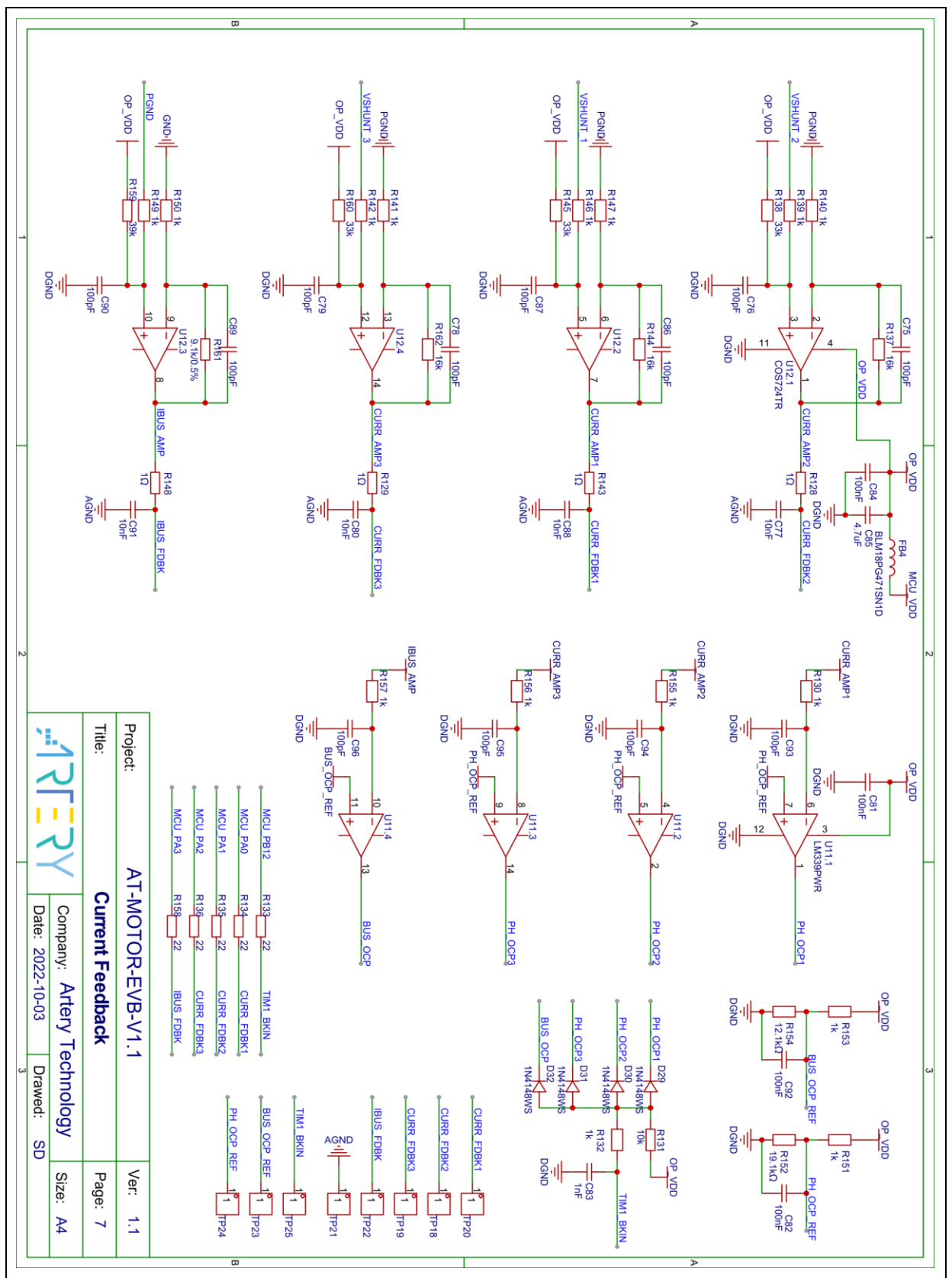
6.5 功率级电路



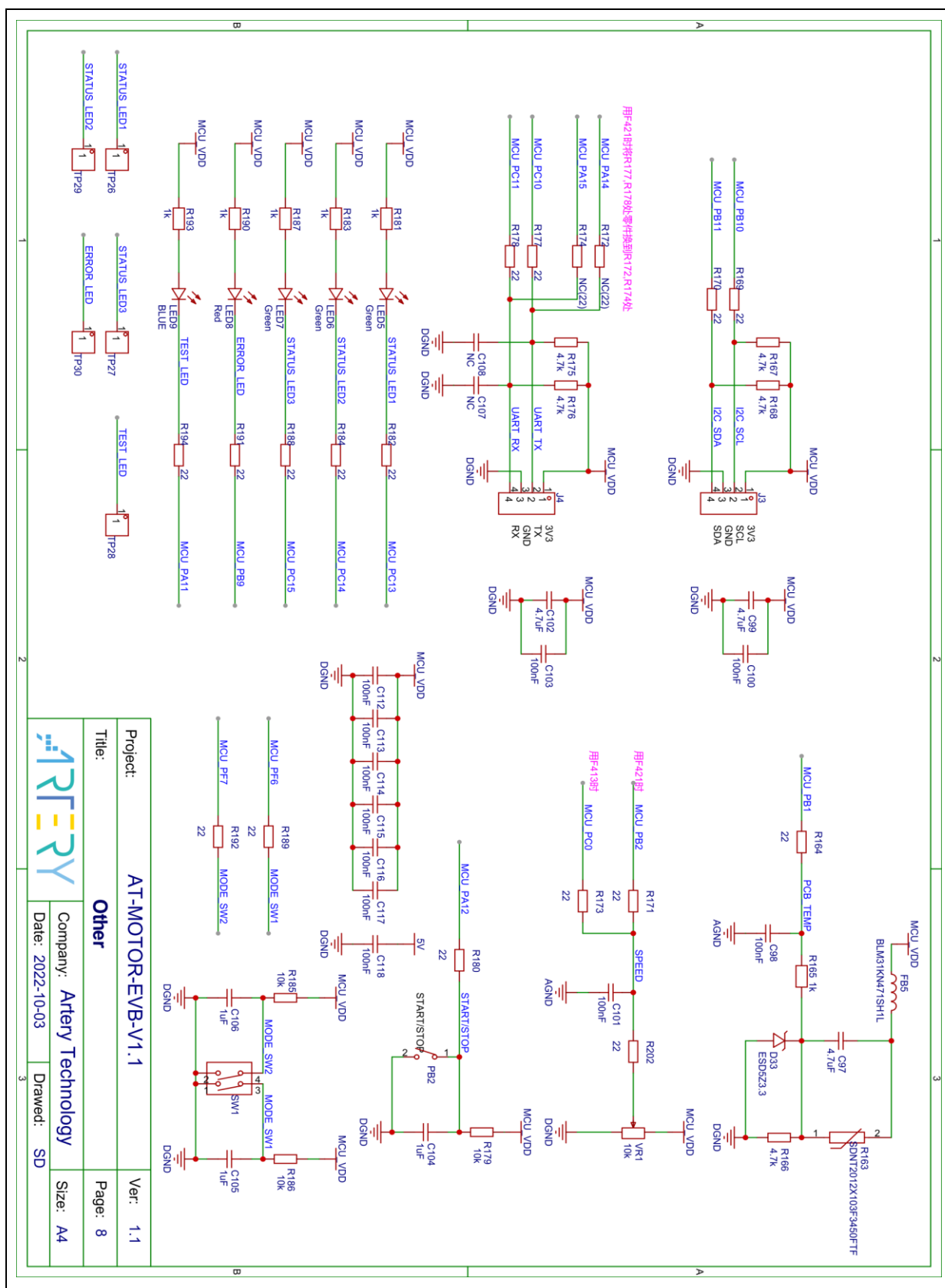
6.6 电压回馈电路



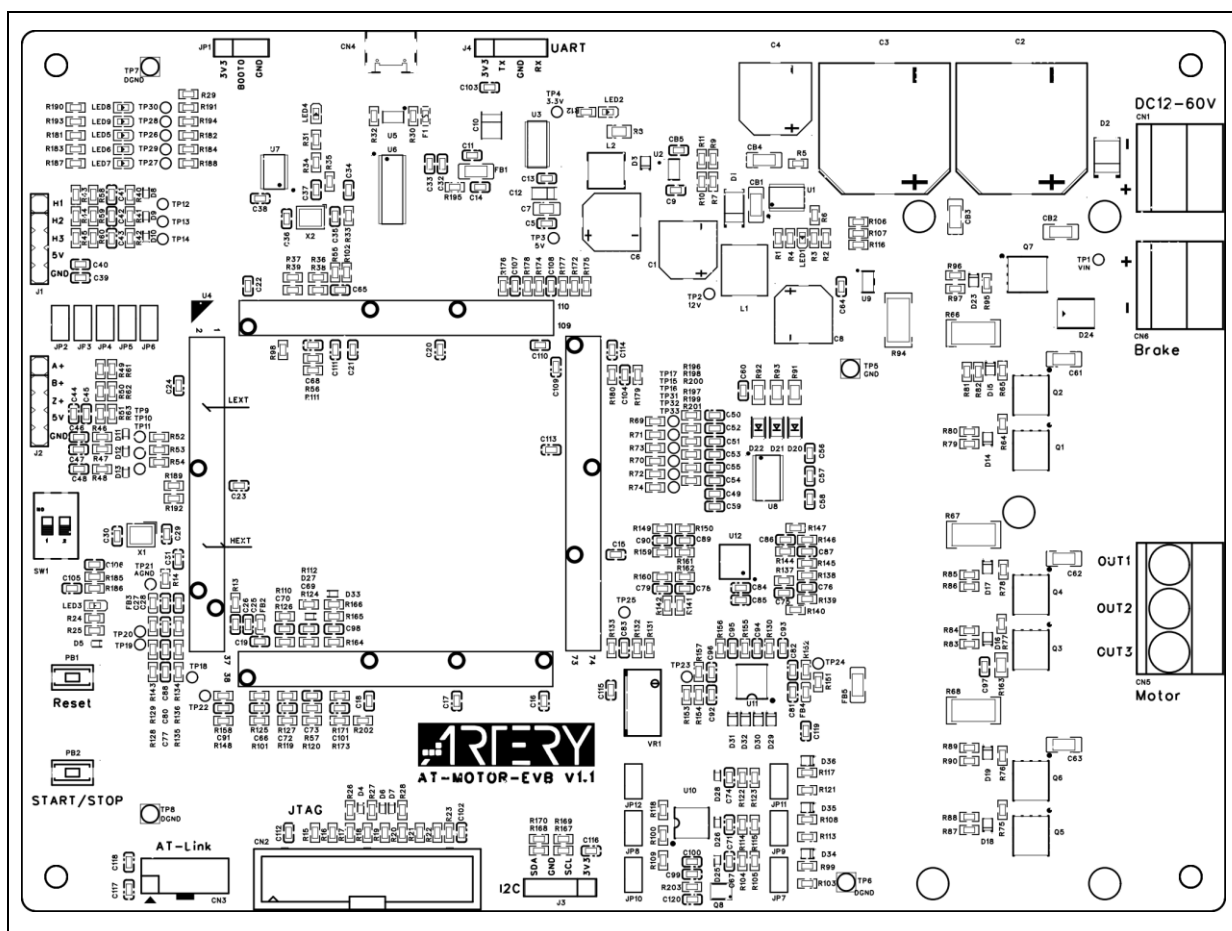
6.7 电流回馈电路



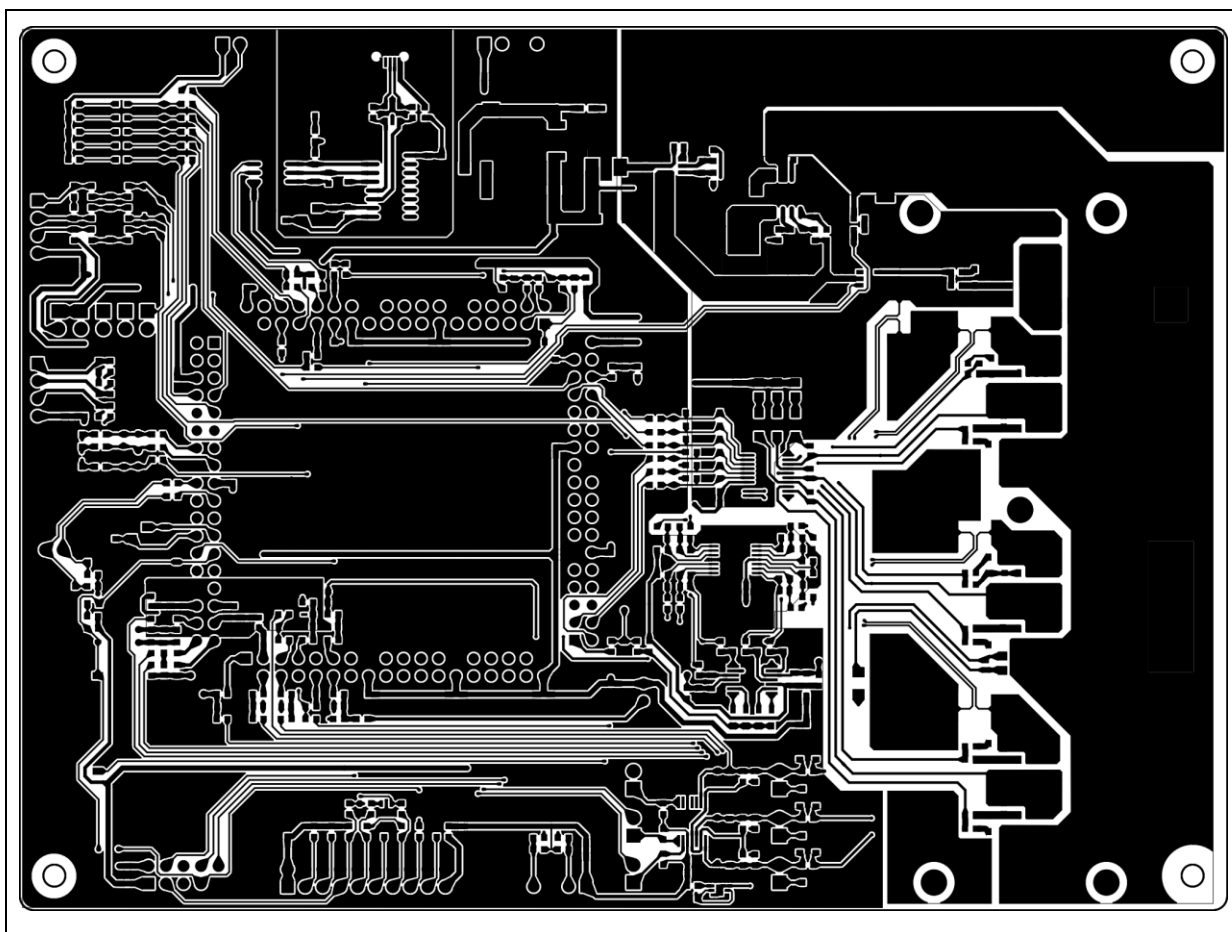
6.8 其它电路



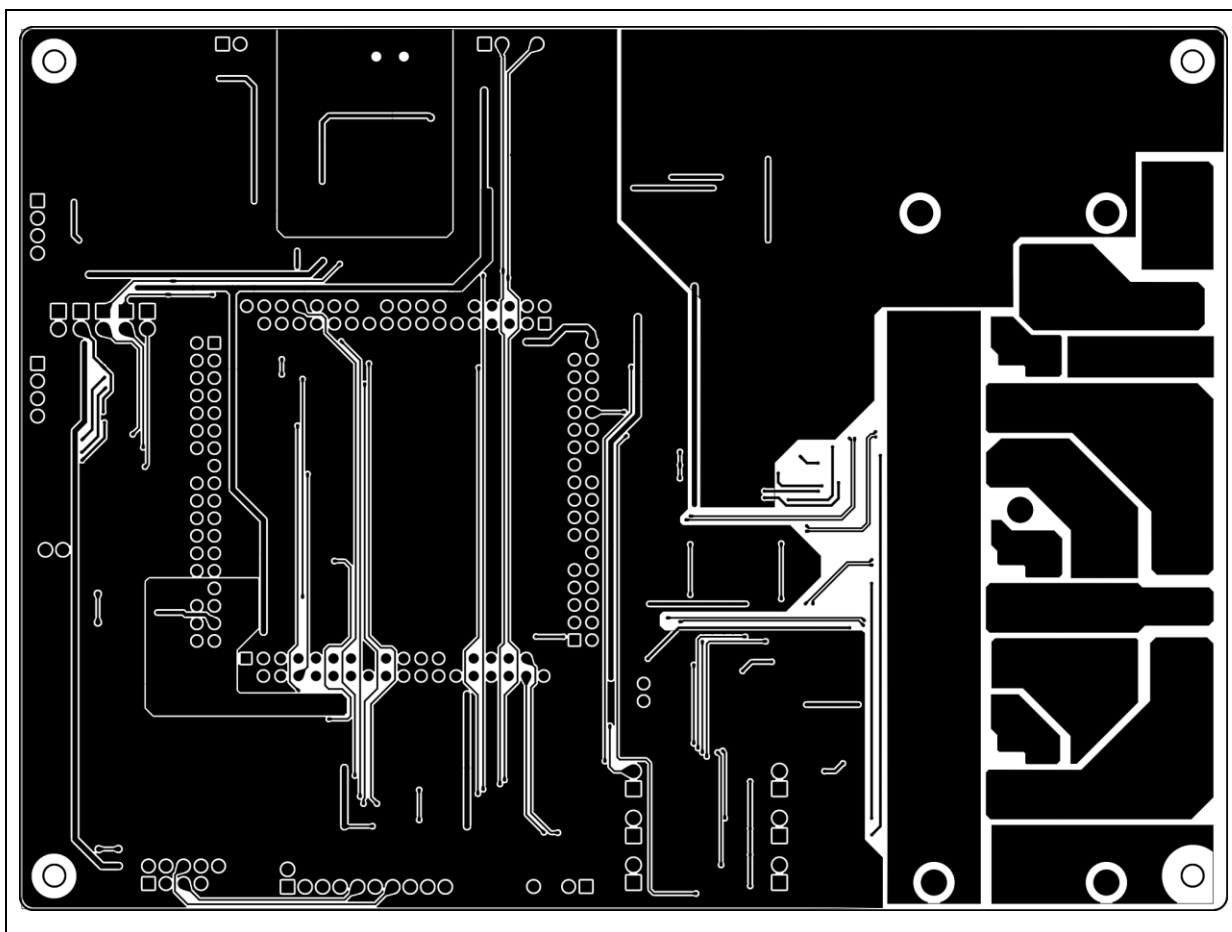
7.1 组件位置图



7.2 顶层布线图



7.3 底层布线图



8 零件列表

Value/Part number	Description	Designator	Footprint	Quantity	Manufacture
100uF	SMD Alum. Elec. Cap.100uF,50V,20%, D:8mm, H:10mm	C1,C6,C8	SMD_BD8.0-L8.3	3	Any
330uF	SMD Alum. Elec. Cap. 330uF,100V,20%, D:18mm, H:16.5mm	C2,C3	SMD_BD18.0-L19.0	2	Any
33uF	SMD Alum. Elec. Cap. 100uF,25V,20%, D:10mm, H:10mm	C4	SMD_BD10.0-L10.4	1	Any
100nF	SMD MLCC 0.1uF,50V,X7R,10%,0603	C5,C9,C11,C13,C15,C16,C17,C18,C19,C20,C21,C22,C23,C24,C26,C28,C31,C33,C34,C37,C38,C39,C44,C49,C64,C69,C81,C82,C84,C92,C98,C100,C101,C103,C112,C113,C114,C115,C116,C117,C118,C119,CB5	C0603	43	Any
22uF	SMD MLCC 22uF,25V,X5R,20%,0805	C7	C0805	1	Any
22uF	SMDTantalum Elec. Cap. 22uF,16V,10%CASE-B 3528	C10	CASE-B 3528	1	Any
4.7uF	SMDTantalum Elec. Cap. 4.7uF,16V,20%CASE-A 3216	C12	CASE-A 3216	1	Any
10uF	SMD MLCC 10uF,16V,X5R,20%,0603	C14,C25,C27,C32	C0603	4	Any
22pF	SMD MLCC 22pF,50V,COG,5%,0603	C29,C30,C35,C36	C0603	4	Any
4.7uF	SMD MLCC 4.7uF,25V,X5R,10%,0603	C40,C45,C85,C97,C99,C102	C0603	6	Any
100pF	SMD MLCC 100pF,50V,X7R,10%,0603	C41,C42,C43,C50,C51,C52,C53,C54,C55,C65,C66,C68,C70,C72,C73,C75,C76,C78,C79,C86,C87,C89,C90,C93,C94,C95,C96	C0603	27	Any
470pF	SMD MLCC 470pF,50V,X7R,10%,0603	C46,C47,C48	C0603	3	Any
2.2uF	SMD MLCC 2.2uF,50V,X5R,10%,0603	C56,C57,C58	C0603	3	Any
1uF	SMD MLCC 1uF,50V,X5R,10%,0603	C59,C60,C104,C105,C106	C0603	5	Any
2.2uF	SMD MLCC 2.2uF,100V,X7R,10%,1206	C61,C62,C63	C1206	3	Any
10nF	SMD MLCC 10nF,50V,X7R,10%,0603	C67,C71,C74,C77,C80,C88,C91	C0603	7	Any
1nF	SMD MLCC 1nF,50V,X7R,10%,0603	C83,C120	C0603	2	Any
0.1uF/100nF	SMD MLCC 0.1uF,100V,X7R,10%,1206	CB1,CB2,CB3,CB4	C1206	4	Any
SK38A-LTP	SMD Schottky Diode 80V,3A	D1	SMA(DO-214AC)	1	Any
SMBJ58A	SMD TVS SMBJ58A	D2	SMB(DO-214AA)	1	Any
RB550V-30 SS	SMD Schottky Diode 30V,1A	D3	SOD-323	1	Any
ESD5Z3.3	SMD ESD Diode ESD5Z3.3	D4,D6,D7,D8,D9,D10,D11,D12,D13,D25,D26,D27,D28,D33	SOD-523	14	Any
1N4148WS	SMD Switching Diode100V,150mA	D14,D15,D16,D17,D18,D19,D23,D29,D30,D31,D32	SOD-323	11	Any
SS10100FL_R1	SMD Schottky Diode100V,1A	D20,D21,D22	SOD-123FL	3	Any
ST20100S	SMD Schottky Diode100V,20A	D24	TO-277B	1	Any
1N4007WS	SMD Diode 1KV,1A	D34,D35,D36	SOD-323	3	Any
SMD0603-050	Resettable Fuses 6V, hold: 0.5A, trip: 1A	F1	0603	1	LCSC Electronics

BLM31KN471S H1L	SMD Bead 120Ohm@100Mhz 4.0A	FB1,FB5	1206	2	Murata
BLM18PG471S N1D	SMD Bead 470Ohm@100Mhz 1.0A	FB2,FB3,FB4	0603	3	Murata
22uH	Inductor 22uH,3A,20%,Part no.MHCI06030-220M-R8	L1	SMD 6.6x7.3x3	1	Chilisin
6.8uH	Inductor 6.8uH,3.5A,20%,Part no.MWSA0503S-6R8MT	L2	SMD 5.2x5.4x3.0	1	Sunlord
Orange	SMD LED Orange 0603	LED1	LED0603	1	Any
Yellow	SMD LED Yellow 0603	LED2,LED4	LED0603	2	Any
RED	SMD LED Red 0603	LED3,LED8	LED0603	2	Any
GREEN	SMD LED Green 0603	LED5,LED6,LED7	LED0603	3	Any
BLUE	SMD LED Blue 0603	LED9	LED0603	1	Any
UK-B0240-W-250	SMD SPST Button L3.5*W6*H2.5mm	PB1,PB2	SMD	2	Any
FKBA0048	N-MOSFET100V/78A, SMD 5mmx6mm	Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6,Q7	PRPAK5X6	7	FETek
DMC1030UFDB-7	P-N-MOSFET 12V/3.9A SMD 2mmx2mm	Q8	U-DFN2020-6D	1	Diodes
100K	SMD Resistor 100K,1/10W,1%,0603	R1,R7,R9,R104,R114,R122	R0603	6	Any
140K	SMD Resistor 140K,1/10W,1%,0603	R2	R0603	1	Any
10K	SMD Resistor 10K,1/10W,1%,0603	R3,R6,R15,R16,R17,R18,R19,R20,R22,R24,R25,R29,R64,R65,R75,R76,R77,R78,R95,R100,R109,R116,R118,R131,R179,R185,R186,R196,R197,R198,R199,R200,R201	R0603	33	Any
15K	SMD Resistor 15K,1/10W,1%,0603	R4	R0603	1	Any
82K	SMD Resistor 82K,1/10W,1%,0603	R5	R0603	1	Any
0R	SMD Resistor 0R,1/10W,1%,0805	R8	R0805	1	Any
18K	SMD Resistor 18K,1/10W,1%,0603	R10	R0603	1	Any
13K	SMD Resistor 13K,1/10W,1%,0603	R11	R0603	1	Any
1K	SMD Resistor 1K,1/10W,1%,0603	R12,R43,R44,R45,R49,R50,R51,R130,R132,R139,R140,R141,R142,R146,R147,R149,R150,R151,R153,R155,R156,R157,R165,R181,R183,R187,R190,R193	R0603	28	Any
0R	SMD Resistor 0R,1/10W,1%,0603	R13,R14,R21,R30,R32	R0603	5	Any
22R	SMD Resistor 22R,1/10W,1%,0603	R26,R27,R28,R38,R39,R52,R53,R54,R55,R56,R57,R69,R70,R71,R72,R73,R74,R98,R102,R111,R120,R124,R125,R126,R127,R133,R134,R135,R136,R158,R164,R169,R170,R171,R173,R177,R178,R180,R182,R184,R188,R189,R191,R192,R194,R202	R0603	46	Any
330R	SMD Resistor 330R,1/10W,1%,0603	R31	R0603	1	Any
4.7K	SMD Resistor 4.7K,1/10W,1%,0603	R36,R37,R166,R167,R168,R175,R176	R0603	7	Any
100R	SMD Resistor 100R,1/10W,1%,0603	R40,R41,R42,R46,R47,R48,R101,R110,R112,R119, R203	R0603	11	Any
2K	SMD Resistor 2K,1/10W,1%,0603	R58,R59,R60	R0603	3	Any
10R	SMD Resistor 10R,1/10W,1%,0603	R61,R62,R63,R79,R81,R83,R85,R87,R89,R96	R0603	10	Any
BVT-I-R002	SMD Shunt Resistor 2mW BVS-A-R002	R66,R67,R68	R2512	3	Isabellenhütte

BVT-I-R005	SMD Shunt Resistor 5mW BVS-A-R005	R94	R2512	1	Isabellenhütte
47R	SMD Resistor 47R, 1/10W, 1%, 0603	R80, R82, R84, R86, R88, R90, R97	R0603	7	Any
4.7K	SMD Resistor 4.7K, 1/10W, 1%, 0805	R91, R92, R93	R0805	3	Any
37.4K	SMD Resistor 37.4K, 1/10W, 1%, 0603	R99, R108, R117	R0603	3	Any
3.9K	SMD Resistor 3.9K, 1/10W, 1%, 0603	R103, R105, R106, R113, R115, R121, R123	R0603	7	Any
180K	SMD Resistor 180K, 1/10W, 1%, 0603	R107	R0603	1	Any
1R	SMD Resistor 1R, 1/10W, 1%, 0603	R128, R129, R143, R148	R0603	4	Any
16K	SMD Resistor 16K, 1/10W, 1%, 0603	R137, R144, R162	R0603	3	Any
33K	SMD Resistor 33K, 1/10W, 1%, 0603	R138, R145, R160	R0603	3	Any
19.1K	SMD Resistor 19.1K, 1/10W, 1%, 0603	R152	R0603	1	Any
12.1K	SMD Resistor 12.1K, 1/10W, 1%, 0603	R154	R0603	1	Any
39K	SMD Resistor 39K, 1/10W, 1%, 0603	R159	R0603	1	Any
9.1K	SMD Resistor 9.1K, 1/10W, 1%, 0603	R161	R0603	1	Any
SDNT2012X103 F3450FTF	SMD NTC Resistor 10K, 1%, 3450K	R163	R0805	1	Sunlord
DSWB02LHGET	2POS DIP Switches 2.54mm, Red	SW1	DIP 6.64x9.6mm	1	Any
TP Ring	PCB Test Point Ring pin, BLACK5001	TP5, TP6, TP7, TP8	DIP	4	Any
JW5121	DC/DC Step-Down Converter 60V, 2A	U1	ESOP-8	1	JoulWatt
ZTP7193KT	DC/DC Step-Down Converter 18V, 3A	U2	TSOT-23-6	1	ZILLTEK
AIC1221- 33GY3TR	LDO 6V, Vo:3.3V, 2A	U3	SOT-223	1	AIC
USBLC6-2SC6	USB ESD Protect, USBLC6-2SC6	U5	SOT-23-6	1	MSKSEMI
CH340G	USB to Serial Port Chip, USB2.0, 2Mbps	U6	SOP- 16_150MIL	1	WCH
ISO7221BDR	Digital 2CH Isolator, 5Mbps	U7	SOIC- 8_150MIL	1	TI
U3315	3-Phase Bridge Gate-driver	U8	TSSOP-20	1	UNI-SEMI
MCP1416T- E/OT	Low side Gate-driver, 1- CH, 1.5A	U9	SOT-23-5	1	Microchip
LM339PW	Quad Differential Comparators	U10, U11	TSSOP-14	2	TI
COS724TR	Quad low noise OP Amp	U12	TSSOP-14	1	COSINE
3296W-1-103	Potentiometer 10K, 10%	VR1	DIP	1	BOCHEN
X32258MSB4SI	8MHz SMD Crystal 20PF, 10ppm	X1	SMD-3225	1	YXC
X322512MSB4SI	12MHz SMD Crystal 20PF, 10ppm	X2	SMD-3225	1	YXC
Connector	PCB Screw Terminal, 2P, 6.35mm, 30A, XY636-6.35- 2P	CN1, CN6	DIP	2	Any
Connector	PCB Screw Terminal, 3P, 6.35mm, 30A, XY636-6.35- 3P	CN5	DIP	1	Any
IDC Connector	Box Header 2x10P, 2.54mm, Black	CN2	HDR2X10	1	Any
Header 2X5	Pin Header 2x5P, 2.54mm, Black	CN3	HDR2X5	1	Any
Micro-B Female	Micro-B USB Female	CN4	DIP	1	Any

Header 1X5	Pin Header 1x5P 2.54mm, Black	J1,J2	HDR1X5	2	Any
Header 1X4	Pin Header 1x4P 2.54mm, Black	J3,J4	HDR1X4	2	Any
Header 1X3	Pin Header 1x3P 2.54mm, Black	JP1	HDR1X3	1	Any
Header 1X2	Pin Header 1x2P 2.54mm, Black	JP2,JP3,JP4,JP5,JP6,JP7,JP8,JP9,JP10,JP11,JP12	HDR1X2	11	Any
Header 2X18	Female Haeder Connector 2x18P, 2.54mm, Black	U4 Connector	HDR2X18	4	Any

9 版本历史

表 10. 文档版本历史

日期	版本	变更
2022.11.18	2.0.0	最初版本
2022.11.23	2.0.1	修正文档内描述名词
2022.12.01	2.0.2	修正文档内专业名词
2023.03.02	2.0.3	修正“表4. CN3接线端子说明表”

重要通知 - 请仔细阅读

买方自行负责对本文所述雅特力产品和服务的选择和使用，雅特力概不承担与选择或使用本文所述雅特力产品和服务相关的任何责任。

无论之前是否有过任何形式的表示，本文档不以任何方式对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。如果本文档任何部分涉及任何第三方产品或服务，不应被视为雅特力授权使用此类第三方产品或服务，或许可其中的任何知识产权，或者被视为涉及以任何方式使用任何此类第三方产品或服务或其中任何知识产权的保证。

除非在雅特力的销售条款中另有说明，否则，雅特力对雅特力产品的使用和/或销售不做任何明示或默示的保证，包括但不限于有关适销性、适合特定用途(及其依据任何司法管辖区的法律的对应情况)，或侵犯任何专利、版权或其他知识产权的默示保证。

雅特力产品并非设计或专门用于下列用途的产品：(A) 对安全性有特别要求的应用，如：生命支持、主动植入设备或对产品功能安全有要求的系统；(B) 航空应用；(C) 汽车应用或汽车环境；(D) 航天应用或航天环境，且/或(E) 武器。因雅特力产品不是为前述应用设计的，而采购商擅自将其用于前述应用，即使采购商向雅特力发出了书面通知，风险由购买者单独承担，并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

经销的雅特力产品如有不同于本文档中提出的声明和/或技术特点的规定，将立即导致雅特力针对本文所述雅特力产品或服务授予的任何保证失效，并且不应以任何形式造成或扩大雅特力的任何责任。

© 2022 雅特力科技 保留所有权利