



Srivatsa Raghunath

摘要

传统自行车是一种两轮车，由骑手驱动，骑手通过使两个轮子之一转动的踏板来传递肌肉力量。骑手操纵前轮以产生一个力，该力会在必要时返回并使车重心进入稳定区域，从而使自行车保持直立。电动自行车携带电池，为连接到任一车轮的电机提供电力。在大多数电动自行车中，骑手可选择借助肌肉力量来提供维持所采用的行驶速度所需的全部或部分推进力或无需推进力。有些型号甚至可感应踏板压力，并在骑手更用力踩踏板时命令电机提供更多动力。

内容

1 引言.....	3
2 电机选择.....	4
3 定子.....	4
4 转子.....	4
4.1 电池选择.....	7
4.2 控制器选择.....	9
5 电动自行车控制器的关键电气特性.....	9
5.1 感应机制.....	10
6 硬件模块.....	11
6.1 电压调节电路.....	11
6.2 电池电压检测.....	12
6.3 车把电压检测.....	13
6.4 反馈电流检测.....	13
6.5 过流检测和系统过流保护电路.....	14
6.6 制动器机制.....	14
7 霍尔传感器位置检测.....	15
7.1 非同步整流模式下的 P2PWMOUT 寄存器配置.....	17
8 功率 MOSFET 和集成驱动器电路.....	18
8.1 微控制器.....	18
8.2 其他功能.....	19
8.3 其他特性选择.....	19
9 结论.....	21
10 参考文献.....	21
11 修订历史记录.....	21

插图清单

图 1-1. 质量范围.....	3
图 4-1. BLDC 电机机械结构.....	4
图 4-2. 典型控制器框图.....	9
图 5-1. 电动自行车典型框图.....	10
图 6-1. TPS54360 原理图.....	11
图 6-2. 电池电压检测原理图.....	12
图 6-3. 车把电压检测原理图.....	13
图 6-4. 反馈电流检测原理图.....	13
图 6-5. 过流保护原理图.....	14
图 6-6. 典型制动波形.....	14

图 6-7. 制动器机制原理图.....	14
图 7-1. 霍尔传感器位置检测原理图.....	15
图 7-2. 霍尔传感器位置波形示意图.....	16
图 8-1. 可实现三相操作的 DRV8320S 无传感器应用示意图.....	18
图 8-2. 其他功能原理图.....	19

表格清单

表 1-1. 质量范围.....	3
表 2-1. 直流电机.....	4
表 4-1. 传动系类型.....	6
表 4-2. 可用电池类型.....	7
表 7-1. 正转顺序.....	16
表 7-2. 反转顺序.....	16
表 7-3. 正转顺序.....	17
表 7-4. 反转顺序.....	17
表 8-1. 无刷直流套件和器件.....	21

1 引言

电动自行车的控制器必须提供从零到推进电机额定峰值的功率，电机速度对应于从零到每小时 48km (30mph) 的自行车速度。对于直流推进电机，可通过脉宽调制 (PWM) 晶体管控制功率。交流电机需要变频。假定了电动自行车控制设计的硬件要求，并显示了基本块及其用法。

电动自行车具有传统的自行车车架、踏板、曲柄、链条和飞轮等组件。电力推进可替代或补充肌肉力量。这为自行车增加了电动机、齿轮减速器、电池和电源控制。下面定义了电动自行车的要求：

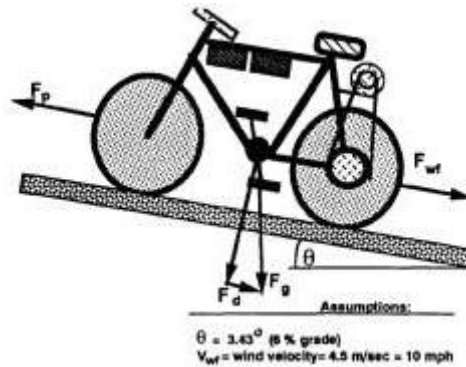
- 整个自行车必须具有尽可能低的实际质量。所有质量都必须通过电池提供的能量运送到山上。较低的质量可增加电池充一次电的续航里程。
- 自行车稳定性是另一项重要要求。总质量不一定影响稳定性，但质量的放置位置很重要。

表 1-1 列出了可有效发挥驱动作用的质量范围。

表 1-1. 质量范围

组件	质量 (以 KG 为单位)
自行车车身	10
电机和齿轮	6
功率控制	1
电池	6
骑行者	80
总重量	106

图 1-1 展示了根据指示的行驶条件产生必要的车轮扭矩所需的功率：



F_{wf} = 风阻和摩擦阻

F_d = 引力产生的下坡力

F_p = 推进力 = $F_{wf} + F_d$

V_b = 自行车速度 = 20km/hr

$F_d = m \sin \theta = 106\text{kg} \times 0.06 \times 9.8 = 63\text{N}$

$P_d = F \times V_b = 63 \times 5.56\text{m/s} = 350\text{W}$

迎风速度 = 25km/hr, 30W 功率推进

图 1-1. 质量范围

因此，电机驱动自行车和骑手所需的功率为 380W。

2 电机选择

表 2-1 对可用的不同直流电机进行了比较。

表 2-1. 直流电机

类型	优势	劣势	典型应用	典型驱动
步进直流	精确定位 步进直流高保持扭矩	低速 需要一个控制器	在打印机和软盘驱动器中的位置	多通道直流
无刷直流电机	较长的寿命 更低的维护费用 高效率	高初始成本 需要一个控制器	硬盘 CD/DVD 播放器 电动汽车	多通道直流
有刷直流电机	初始成本低 简单的速度控制	维护费用高 (电刷) 寿命较短	跑步机 汽车启动器 玩具	直接 (PWM)

根据表 2-1，可选择 BLDC 电机以获得其优势。

无刷直流 (BLDC) 电机是一种同步电机，其中定子和转子产生的磁场具有相同的频率。由于不需要电刷，BLDC 电机寿命更长。此外，它还具有启动扭矩大、空载速度高、能量损失小等优点。BLDC 电机可配置为单相、两相和三相。在所有配置中，三相电机颇受欢迎，广泛用于电动自行车。

BLDC 电机的结构分为两个部分：

- 运动部分被称为转子，由永磁体表示
- 固定部分被称为定子，由磁路的相绕组表示

3 定子

BLDC 电机的定子由堆叠的钢叠片组成，绕组放置在沿内周轴向切割的槽中。传统理念上，定子类似于感应电机；但是，绕组以不同的方式分布。大多数 BLDC 电机具有以星形方式连接的三个定子绕组。每个绕组由多个线圈构成，这些线圈相互连接以形成一个绕组。一个或多个线圈放置在槽中，它们相互连接以形成绕组。每个绕组分布在定子外围以形成偶数极。

4 转子

转子由永磁体制成，包含 2 到 8 个极对，具有交替的北 (N) 极和南 (S) 极

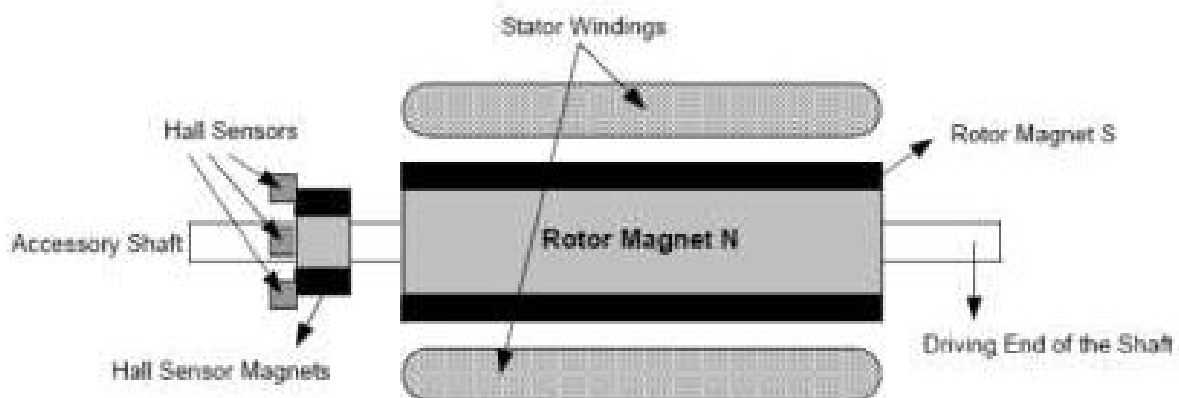


图 4-1. BLDC 电机机械结构

与有刷直流电机不同，BLDC 电机可通过电子方式进行控制。若要使 BLDC 电机转动，必须以特殊顺序给定子绕组通电。必须知道转子位置，以便了解接下来将给哪一个绕组通电。转子位置使用嵌入定子中的霍尔效应传感器进行感应。也可采用无传感器方法。

大多数 BLDC 电机在电机非驱动端的定子中嵌入了三个霍尔传感器。每当转子磁极经过霍尔传感器附近时，它们就会产生高电平或低电平信号，表明 N 极或 S 极正在经过传感器附近。根据这些霍尔传感器信号的组合，可确定准确的换向顺序。

无传感器应用正变得越来越流行，因为它简化了电机结构和接线。虽然需要更高级的软件，但可轻松实现。

由于电动自行车的日益普及，专为电动自行车应用设计的电机现已上市。这些电机在如何安装到自行车上以及如何向它们施加动力方面有很大差异。如上所述，可提供带传感器和无传感器两种类型。

以下动力总成和电机类型在当今市场上屡见不鲜，具体示例如下：

皮带驱动传输 一个专门设计的电机安装在车架的低处，并通过皮带驱动后轮

直接驱动（直列式链驱动） 这种方法使电机与自行车主链条（即，骑手在蹬车时使用的链条）协同工作。电机的传动装置因制造商而异。

带专用链传动装置的框架式电机 另一种常见的方法是将电机安装到自行车车架上靠近后轮轮毂的位置，通常在一侧。电机自带小链条，可驱动后轮上的行星齿轮。这种专用链条与主自行车链条（用于与自行车踏板搭配使用）是分开的。传动装置对于制造商或售后电机转换套件来说仍然是特定的。

轮装盘式电机 这是**碟式**或**飞盘式**电机，有时甚至被称为**飞盘电机**，被安装在一个或两个轮子上。这些电机可安装在两个轮子上，使骑手可用的动力翻倍。但是，这些电机会增加车轮的重量和离心力。

轮毂电机 理想情况下，**轮毂电机**是指取代车轮轮毂的电机。有时这可以是平盘电机，有时并非盘式电机。在任何一种情况下，电机都是轮毂，而不是安装在它旁边或附近。

基于摩擦的轴 这种类型的电力驱动将电机安装在非常靠近一个车轮的位置。轴从电机延伸出来，且这个旋转轴通过它与它直接接触旋转来驱动车轮。电机不与链条交互。鲜少支持电机的多个齿轮。

齿轮传输式轴驱动 这种电驱动就像由轴驱动的摩托车。自行车没有链条。电机和踏板向一个密封且受保护的轴提供动力，该轴在前后都具有锥齿轮。支持多个齿轮（速度）。

表 4-1 总结了之前描述的传动系类型。

表 4-1. 传动系类型

动力总成类型	优势	劣势
皮带驱动传输	<ul style="list-style-type: none"> 允许在设计中进行大量定制 静默运行 	不使用电机时可能会降低踏板的性能
直接驱动 (传统直列式链)	<ul style="list-style-type: none"> 不需要任何其他链 一体式金属车架可将电机隐藏并提供很好的保护 电机可能会承受骑手可用的尽可能多的齿轮。 低重心 	<ul style="list-style-type: none"> 链上的感知 (标准) 拖动 链条仍然可见, 可能容易受到灰尘的影响 可能有噪声
带专用链的框架式电机	<ul style="list-style-type: none"> 专用链条可实现良好的动力传递, 而不会带来复杂性 专用链条可实现良好的动力传递, 而不会带来复杂性 	<ul style="list-style-type: none"> 需要第二条链条和行星齿轮 可能提供电机可用的多个齿轮, 也可能未提供。 可能提供电机可用的多个齿轮, 也可能未提供。
轮装盘式电机 (博饼式电机)	<ul style="list-style-type: none"> 目前最高效的方法 不需要行星齿轮或旋转轴来提供动力 保持良好的元素保护 	<ul style="list-style-type: none"> 让车轮承受过多的重量, 在更高的速度下可能会出现处理问题。 可能存在电机的多个齿轮, 也可能不存在。
轮毂电机 (非盘式)	<ul style="list-style-type: none"> 无需与自行车主链条相互作用 无需额外传输 	<ul style="list-style-type: none"> 让车辆承受更多重量 扭矩因素可纳入操作注意事项中。 未装弹簧的重量或质量
基于摩擦的轴驱动	<ul style="list-style-type: none"> 价格实惠 易于安装 迄今为止最简单的机械概念 	<ul style="list-style-type: none"> 效率低 - 无传动装置 摩擦会磨损轮胎。 随着时间的推移, 轴上的压力可能会使电机功能受损。 电机必须在更高的转速下保持非常高的 RPM。
齿轮传输式轴驱动	<ul style="list-style-type: none"> 多个齿轮很常见 多个齿轮很常见 	更换轮胎和重新安装车轮可能比其他方法要求更高

根据表 4-1 中所列的信息, 选择了具有以下具体性能的 500W 后轮毂电机:

- 型号: HBS36R
- 后轮毂电机电压: 36V (无刷)
- 功率: 500W
- 重量: 5Kg

4.1 电池选择

请参阅以下公式以根据电流和电压计算续航里程：

$$\text{Ah (Amp hours)} \times \text{V (volts)} = \text{Wh (Watt hours)} \quad (1)$$

选择 480Wh 的 48V、10AH 电池。

$$P (\text{power}) = \text{Work} / t (\text{time}) \quad (2)$$

$$P \times t = \text{Work} = \text{Force} \times \text{distance} \quad (3)$$

$$\text{Force} = \text{mass} \times \text{acceleration} \quad (4)$$

$$\text{Distance} = \text{Wh} / \text{Force} \quad (5)$$

$$\text{Distance} = \text{Wh} / \text{Force} \quad (6)$$

电动自行车在平面上的速度通常限制在 30km/h。较大的瓦数会增加续航里程并可增加上坡扭矩，但是，较大的瓦数通常不会提高最大速度，此速度会受到限制。

从前面列出的公式可知，一块 480Wh 的电池大约可以提供 55km 的续航里程。

表 4-2 对可用的不同电池类型进行了比较。

表 4-2. 可用电池类型

动力传动系类型	优势	劣势
铅酸 (密封)	<ul style="list-style-type: none"> 制造成本低且简单 成熟、可靠且众所周知的技术 低放电 - 自放电率是可充电电池中最低的。能够实现高放电率。 低放电 - 自放电率是可充电电池中最低的。能够实现高放电率。 	<ul style="list-style-type: none"> 不得在放电状态下存放 能量密度低 - 重量能量密度比较低 不环保 - 电解液和铅含量会破坏环境。
锂离子	<ul style="list-style-type: none"> 能源密度与重量之比最高 无需定期护理以延长寿命 没有任何记忆效应 与单节电池相比，串联电池组的性价比更高 无论是对比原材料还是其他选择，锂离子都更加环保 • Li-ion-Cobalt 是更成熟的锂离子技术，具有灵活的形状选择 	<ul style="list-style-type: none"> 所有锂离子技术都需要保护电路以防止过热 所有锂离子技术都需要保护电路以防止过热 容易因过度充电或放电而损坏
镍镉电池	<ul style="list-style-type: none"> 快速简单的充电 - 即使在长时间存放之后也是如此 充放电循环次数多 - 如果维护得当 良好的负载性能 - 镍镉电池允许在低温下充电 在任意充电状态下都能够长期存放 如果说得不对，请原谅 - 镍镉电池是一种极其耐用的可充电电池 经济实惠 - 就每周期成本而言，镍镉电池是成本最低的电池。 提供多种尺寸和性能选项 	<ul style="list-style-type: none"> 与较新的系统相比，能量密度相对较低 记忆效应 - 必须定期对镍镉电池充放电，以防止产生记忆效应 不环保 - 镍镉电池含有有毒金属 一些国家/地区限制使用镍镉电池 具有较高的自放电 - 存放后需要充电

表 4-2. 可用电池类型 (continued)

动力传动系类型	优势	劣势
镍氢电池	<ul style="list-style-type: none"> 容量比标准镍镉电池高 30%-40%。镍氢电池具有实现更高能量密度的潜力。 记忆效应低于镍镉电池。通常不需要定期进行充放电 环保 - 仅含有温和的毒素；可回收利用 镍氢电池在充电过程中会产生更多的热量，并且与镍镉电池相比需要更长的充电时间 成本比镍镉电池高大约 20% 	<ul style="list-style-type: none"> 使用寿命有限 - 优先选择浅放电循环而不是深放电循环 高负载电流下的重复放电会缩短电池的续航时间 高自放电 - 镍氢电池的储存保质期比镍镉电池短约 50% 如果在高温下存放，性能会下降 高维护工作量 - 需要定期完全放电以防止形成结晶

根据表 4-2 中所列的信息，选择了锂离子电池。选择的 LFP-4810S 48V、10AH 电池具有以下性能规格：

- 最大放电电流：35A (12AH) 和 60A (16AH)
- 最大连续放电电流：20A (12AH) 和 30A (16AH)
- 充电周期：>800 次

该电池是专为电动自行车应用而设计的高容量 LiFePO₄ 电池组。这些电池配有轻质 (5.5kg) 铝制外壳和安全连接器。具有以下规格的通用充电器均有现货供应

- 交流输入：85V_{AC} 至 265V_{AC}
- 充电器输出：54V (2A)

4.2 控制器选择

图 4-2 所示为所选电机被完全控制的典型框图。

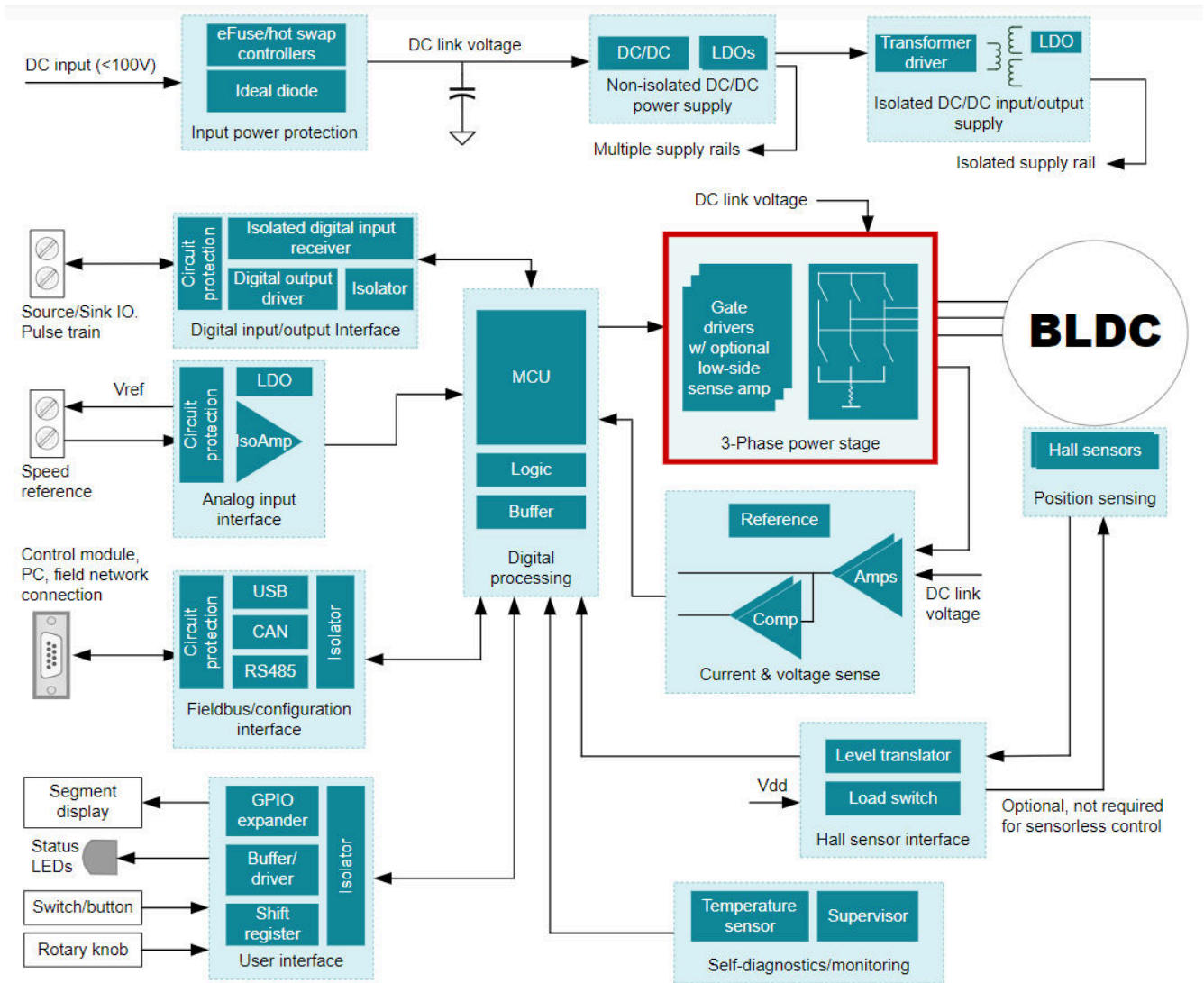


图 4-2. 典型控制器框图

5 电动自行车控制器的关键电气特性

下面列出了电动自行车控制器的关键电气特性：

- 额定电压：48V_{DC}（锂离子电池组）
- 额定功率：500W
- 电机转速：0 到约 30km/h 的可变速度（由车把控制）
- 速度限制：最高 20km/h（由跳线控制）
- 电池欠压保护：41.5 ± 0.5V

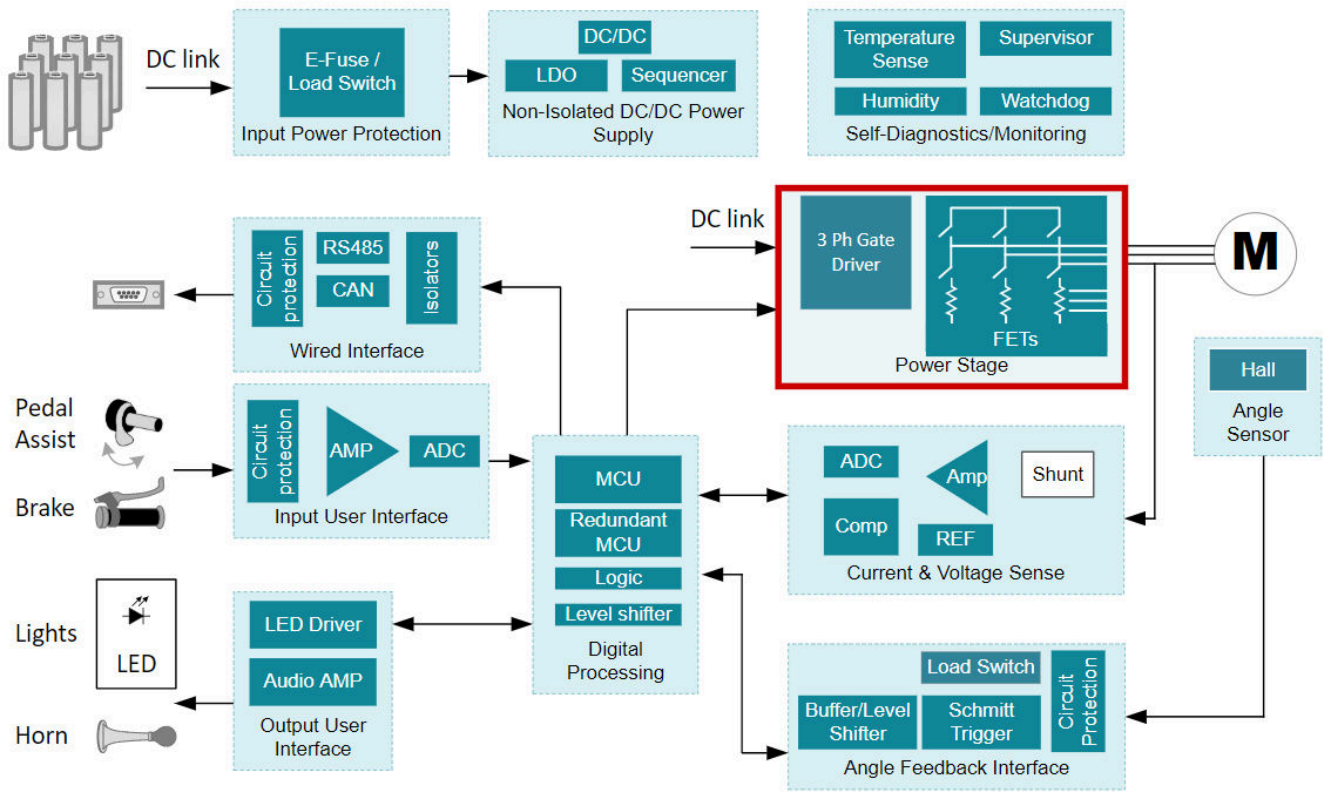


图 5-1. 电动自行车典型框图

5.1 感应机制

	霍尔效应传感器	无传感器 (BACK-EMF)
类型	直接感应定子磁场	间接感应定子磁场
安装	电机内或电机上	不适用
速度范围	所有速度	中到高
应用	恒定和可变扭矩	最适合可变扭矩
电机在启动时震动	否	有时
成本	中	超低
可靠性	中	高

所选电机具有内置的霍尔效应传感器。

6.2 电池电压检测

电池具有正极端子和负极端子。极性正确时，二极管 D5 导通并提供正常电源。极性错误时，二极管 D5 处于反向电压下并且不导通。二极管可保护系统中的其他器件，包括 MCU ADC 输入。如果 ADC 结果低于预设值，则会发生欠压保护。电动自行车中的电池含有铅酸。放电电压不能太低；否则，电压放电会对电池造成永久性损坏。ADC 应该能在正常操作期间检测到这种下降。如果电池电压低于某个预设值，MCU 将进入欠压保护模式。

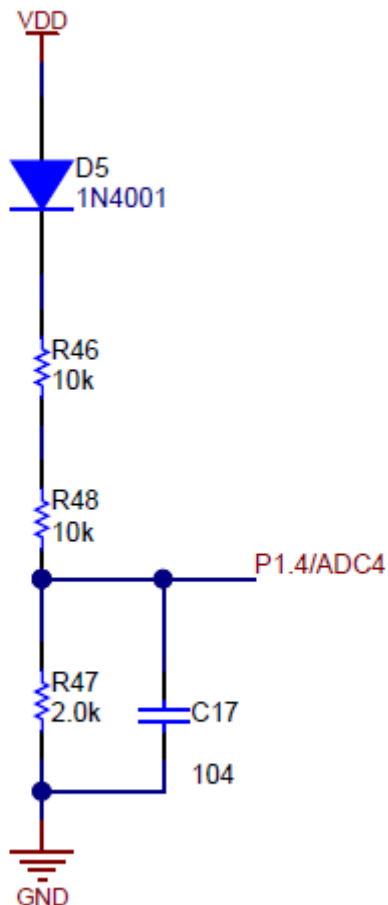


图 6-2. 电池电压检测原理图

6.3 车把电压检测

跳线 S4 用于速度限制。当 S4 导通时，R61 与 R59 并联，这使得 ADC 输入电压远低于 S4 关断时的电压。

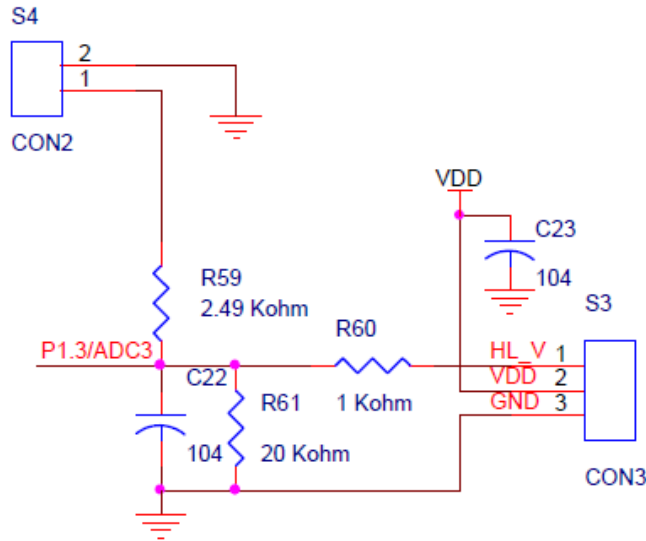


图 6-3. 车把电压检测原理图

6.4 反馈电流检测

一个 LM358 运算放大器用于测量系统反馈电流。增益控制电阻器 (R16、R17) 可确保 ADC 输入电压在 0 到 5V 的范围内。

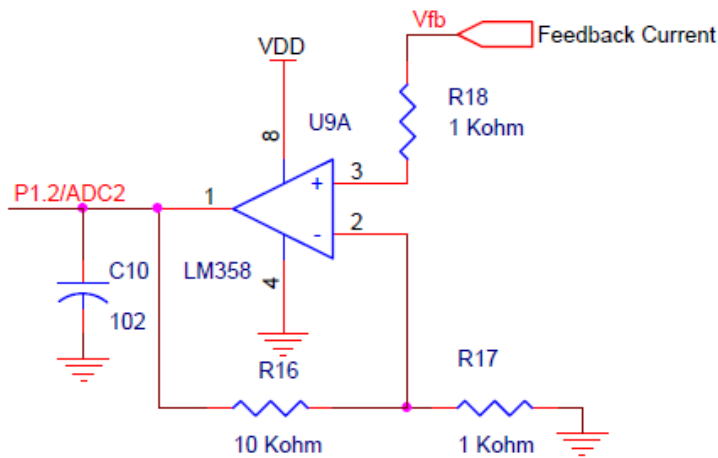


图 6-4. 反馈电流检测原理图

6.5 过流检测和系统过流保护电路

控制器可使用两种外部条件来判断电流：

- 条件 1：反馈电流突然上升到一个意想不到的值，这可能是由 MOSFET 短路或电机旋转阻塞引起的。
- 条件 2：电流高于为系统安全设置的预设安全值（通常为 50A）。

条件 1 受外部比较器保护，如图 6-5 所示。条件 2 通过反馈电流检测实现。

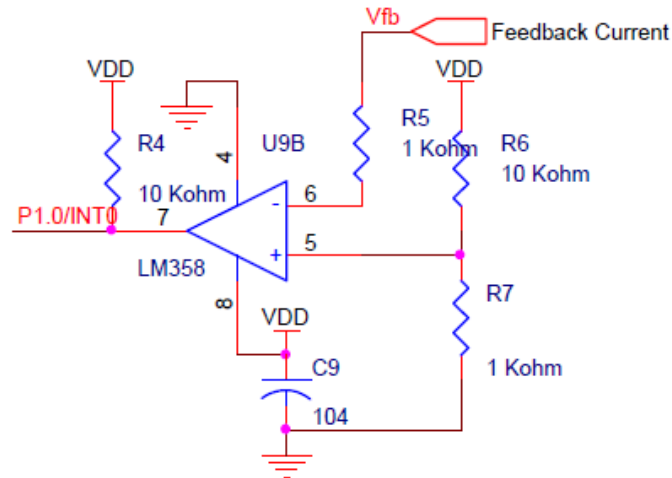


图 6-5. 过流保护原理图

6.6 制动器机制

制动器机制可同时支持高电平和低电平制动信号。ADC 具有图 6-6 中所示的波形，与制动信号无关。

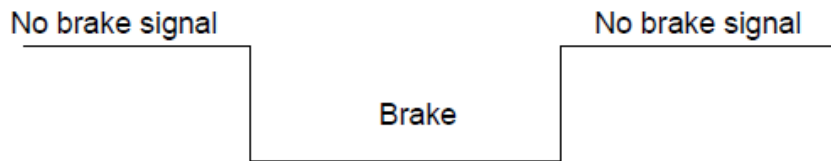


图 6-6. 典型制动波形

图 6-7 所示为制动器机制电路。

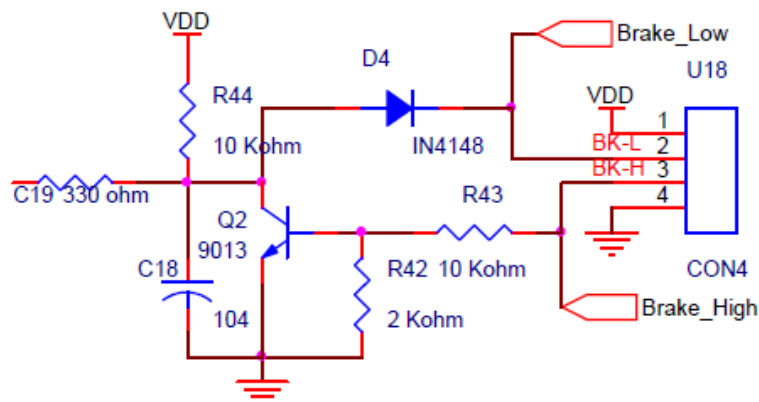


图 6-7. 制动器机制原理图

7 霍尔传感器位置检测

若要实现转子和旋转场之间的同步需要知晓转子位置。此应用中使用的 BLDC 电机具有 3 个霍尔传感器。

图 7-1 所示为霍尔传感器位置检测电路和速度计电路。

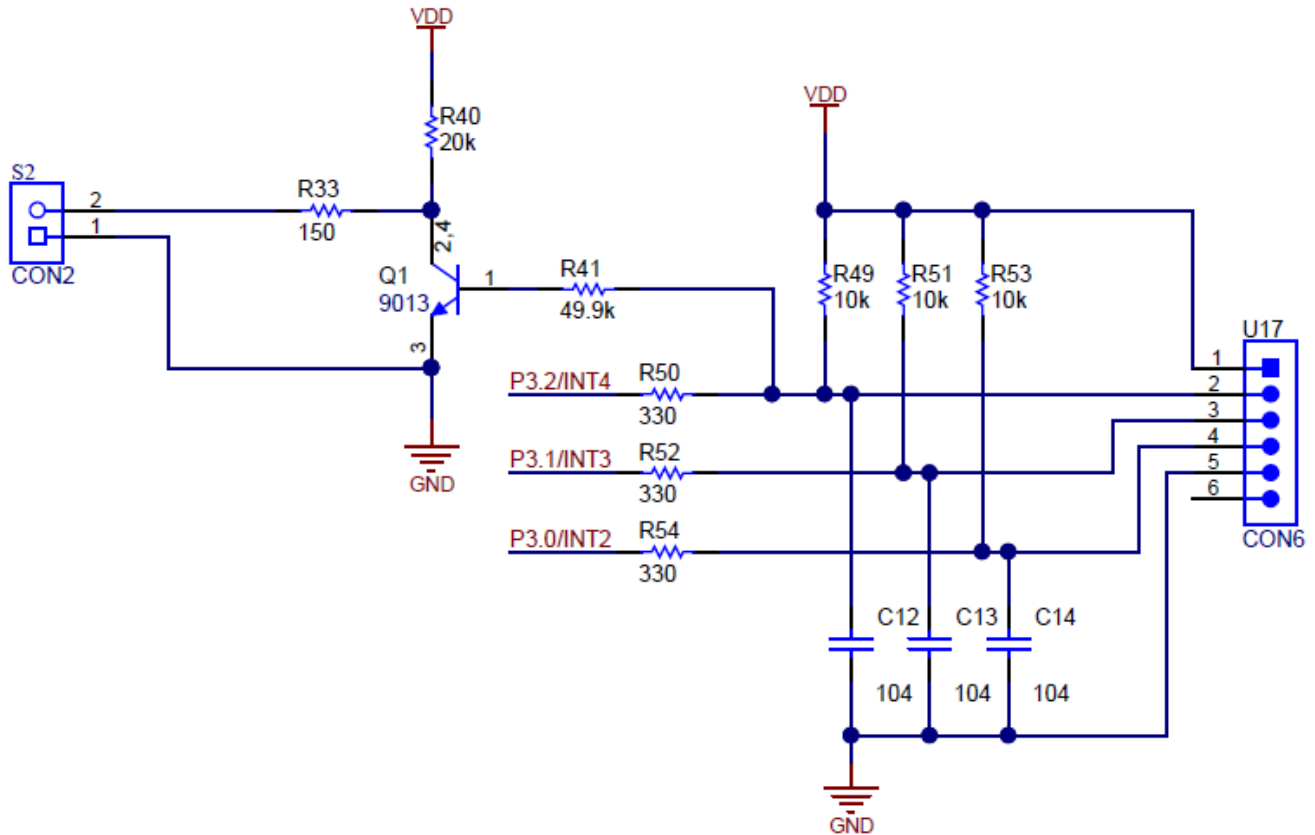


图 7-1. 霍尔传感器位置检测原理图

图 7-2 所示为传感器的输出信号流，它描述了电动转子的位置。

八个可能的信号组合可用作三个传感器的输出。其中两个组合对位置检测无效，并且通常是由传感器线开路或短路引起的。其他六种组合将在上升沿和下降沿被外部中断源检测到。

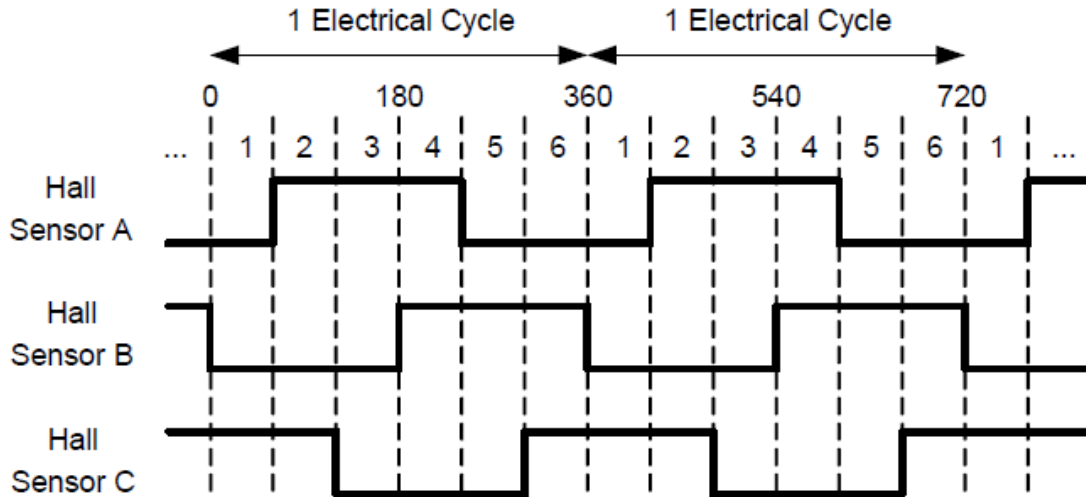


图 7-2. 霍尔传感器位置波形示意图

表 7-1. 正转顺序

顺序编号	霍尔传感器输入			有源 MOSFET		相电流		
	A	B	C	H 桥	L 桥	A	B	C
1	0	0	1	C	B	关闭	直流-	直流+
2	1	0	1	A	B	直流+	直流-	关闭
3	1	0	0	A	C	直流+	关闭	直流-
4	1	1	0	B	C	关闭	直流+	直流-
5	0	1	0	B	A	直流-	直流+	关闭
6	0	1	1	C	A	直流-	关闭	直流+

表 7-2. 反转顺序

顺序编号	霍尔传感器输入			有源 MOSFET		相电流		
	A	B	C	H 桥	L 桥	A	B	C
1	0	0	1	B	C	关闭	直流+	直流-
2	0	1	1	A	C	直流+	关闭	直流-
3	0	1	0	A	B	直流+	直流-	关闭
4	1	1	0	C	B	关闭	直流-	直流+
5	1	0	0	C	A	直流-	关闭	直流+
6	1	0	1	B	A	直流-	直流+	关闭

续流功能可通过以下两种方式中的任一种实现：

- 非同步整流，其中由互补 MOSFET 的体二极管进行电流续流
- 同步整流，其中由互补 MOSFET 直接进行电流续流

在此应用中，实现了非同步整流。PWM 模块可实现死区时间控制；因此也可支持同步整流。

在非同步整流中，不需要控制由 PWM 信号驱动的 MOSFET 的互补 MOSFET。因此，一次只有两个 MOSFET 处于工作状态。区别在于一个是由 PWM 信号驱动进行速度控制，另一个则是由全占空比 PWM 驱动。效果和普通 IO 一样；这只是在高电平和低电平桥之间更好地进行同步的一个技巧。当为 PWM 模块设置比较数据时，即使由 IO 执行时出现了指令延迟，所有 PWM 输出也都有相同的起始点。

7.1 非同步整流模式下的 P2PWMOUT 寄存器配置

表 7-3 列出了 BLDC 电机正转时的顺序。

表 7-3. 正转顺序

顺序编号	霍尔传感器输入			P2PWMOUT 寄存器配置								
	A	B	C	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0	十六进制
1	0	0	1	0	0	X	0	1	X	1	0	2EH
2	1	0	1	1	0	X	0	1	X	0	0	ACH
3	1	0	0	1	0	X	0	0	X	0	1	A5H
4	1	1	0	0	0	X	1	0	X	0	1	35H
5	0	1	0	0	1	X	1	0	X	0	0	74H
6	0	1	1	0	1	X	0	0	X	1	0	66H

表 7-4 列出了 BLDC 电机反转或倒转时的顺序。

表 7-4. 反转顺序

顺序编号	霍尔传感器输入			P2PWMOUT 寄存器配置								
	A	B	C	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0	十六进制
1	0	0	1	0	0	X	1	0	X	0	1	35H
2	1	0	1	1	0	X	0	0	X	0	1	A5H
3	1	0	0	1	0	X	0	1	X	0	0	ACH
4	1	1	0	0	0	X	0	1	X	1	0	2EH
5	0	1	0	0	1	X	0	0	X	1	0	66H
6	0	1	1	0	1	X	1	0	X	0	0	74H

8 功率 MOSFET 和集成驱动器电路

TI 提供各种电机驱动器。有些器件需要外部 FET，而其他器件则具有内部 FET。诸如 DRV8320 器件之类的器件有效地简化了三相 BLDC 电机驱动器的设计。

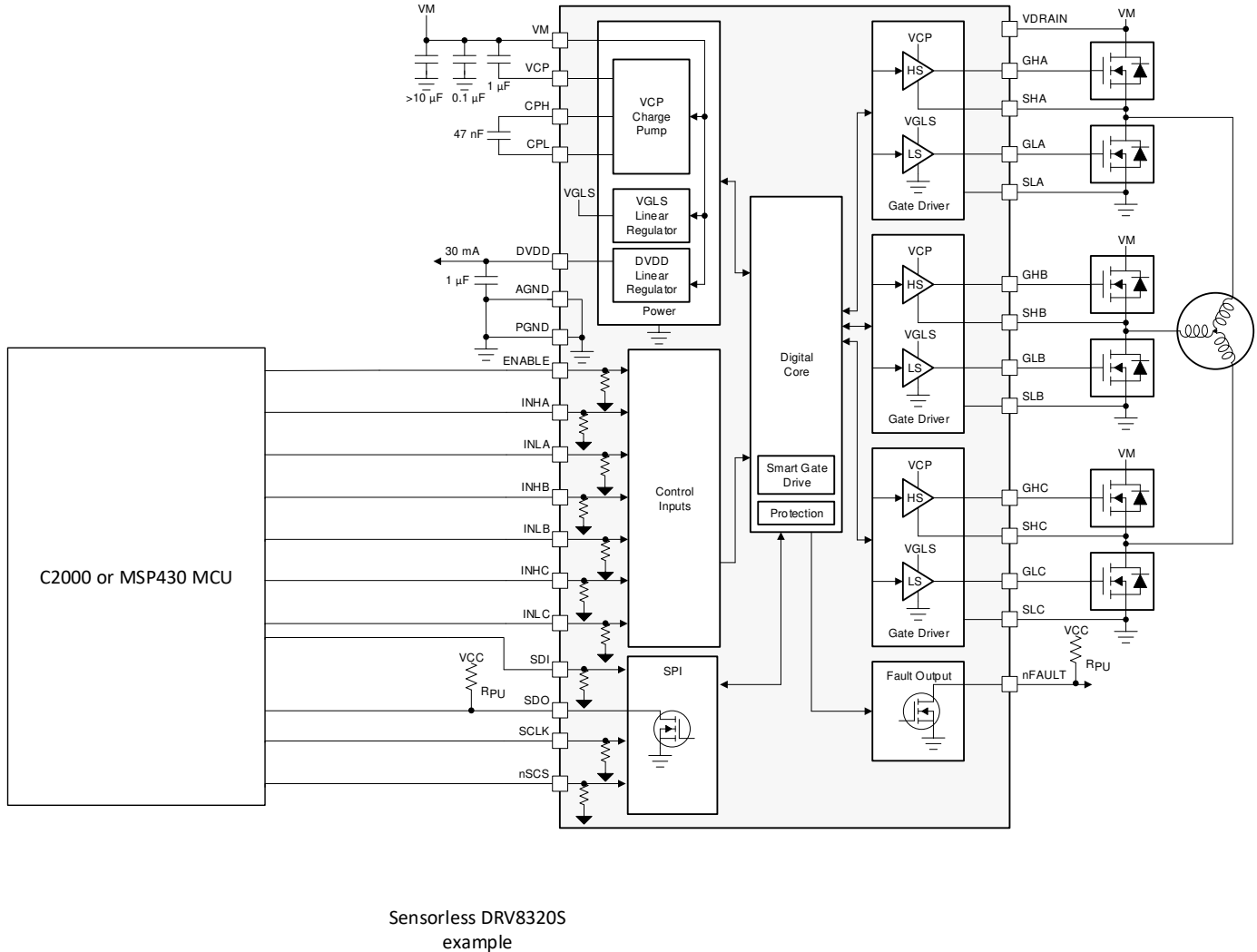


图 8-1. 可实现三相操作的 DRV8320S 无传感器应用示意图

8.1 微控制器

电动自行车控制器系统包括：

- 三个外部中断源用于从霍尔传感器获取位置信息，一个用于制动器机制
- 一个计时器用于在固定时间内对霍尔中断进行计数以获取速度信息
- 三个 ADC 通道用于检测电池电压、车把电压和系统反馈电流
- PWM 输出直接控制电桥。不同的占空比会产生不同的车速
- 其余 IO 可作为高级功能输入引脚或系统状态指示引脚

TI 的 Piccolo (F280xcx)、Delfino (F283xx)、Hercules (RM48、RM46) 和 Concerto (F28M35x) 系列控制器可轻松满足所有这些要求，并具有可帮助实现快速高效控制器设计的附加功能。诸如 InstaSPIN™-BLDC 等软件工具可进一步简化控制算法开发流程。

8.2 其他功能

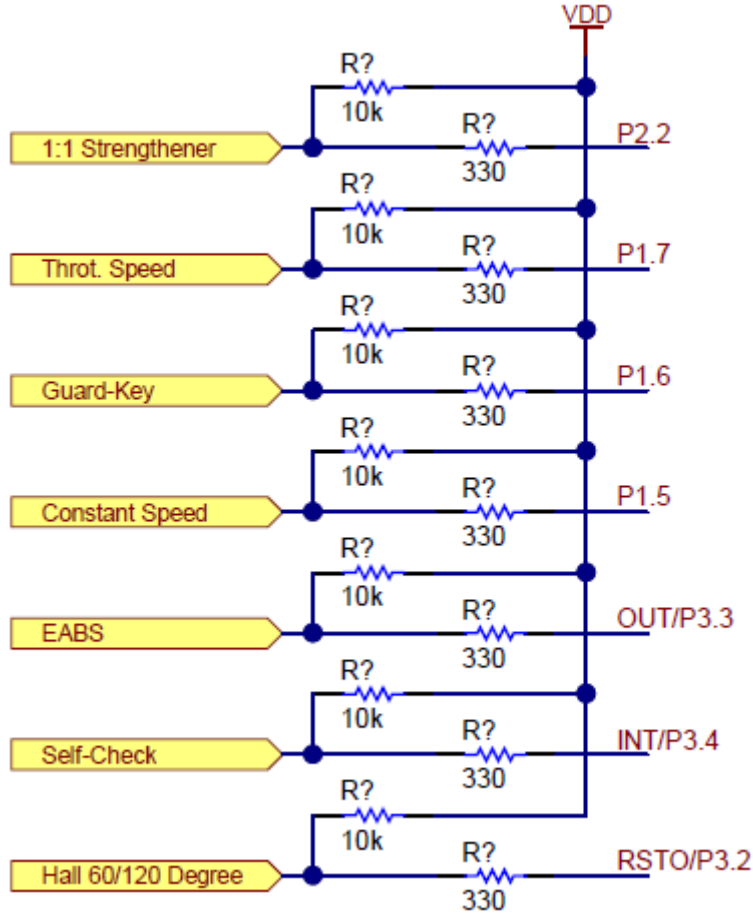


图 8-2. 其他功能原理图

8.3 其他特性选择

8.3.1 功率控制：

手动或节流控制

这种类型的电源控制或手动调节器可能因设计而异，但在这种方法中，电力是通过手动或拇指控制的，并且与骑手是否踩踏板无关。

踏板激活（脚踏电动自行车）

先进的电子设备和多个传感器支持采用一种非常不同的方法来控制电动自行车的电源。这种方法使用踏板来实现动力辅助。

- 踏板很难走得快，而自行车增加了更多的电力。
- 踏板很容易变慢或保持更轻松的速度，功率级别也是如此。
- 若要滑行或减速，骑手根本不踩踏板，电动自行车也没有电力响应。

这被称为脚踏电动自行车（pedelec，pedal-electric 的缩写）功率控制方法，pedelec 一词起源于欧洲，是欧洲非常流行的一种交通工具。

混合电源控制

这种方法是电动自行车和脚踏电动自行车的动力控制方法相结合，手动和脚踏控制机制相结合。细节和用途可能因设计而有显著差异。

效率模式

很多电动自行车支持两种或三种效率模式。

经济模式

优化续航里程并大幅延长电池充电间隔，但代价是损失扭矩、加速度以及上坡或越野性能。

相反模式也被称为运动模式、功耗模式、性能模式或等效模式。此设置可实现高性能加速、扭矩、更大的载货能力或上坡性能。弊端是续航里程缩短。

8.3.2 齿轮和效率

并非所有电动自行车都在电动机内提供多个齿轮。在这种情况下，电机的单个齿轮会降低效率，尤其是在爬山时。可变齿轮使爬山更容易，并会延长电机的使用寿命和提高其性能。汽车上的单个齿轮无法实现良好的爬坡和高效的最高速度。在爬坡和加速时为电机增加更多动力切实可行，但这并不是一种有效的方法

单速齿轮可能需要您携带更重且可能更昂贵的电池或电池组。此外，电动机过载会产生热量，这会造成能源的浪费，会损坏电子设备和电机，并缩短产品的使用寿命。有了齿轮，电机就可支持更好的性能，创造更高的效率，并有助于延长产品的使用寿命。

8.3.3 再生制动

混合动力电动汽车或纯电动汽车支持再生制动模式并收获其带来的收益。这种制动模式改变了电动机的设计，以便在施加制动时能够为电池充一部分电。

这种情况通常发生在刹车停止或下坡时。此类功能可增加电动汽车的续航里程。

电动或混合动力汽车可支持再生制动模式的原因有很多，主要是因为这些车辆更重，可承载更重的负载，而且成本更高。

相比之下，再生制动可能有利于电动自行车的创新。一些新型号采用了再生制动模式。考虑以下因素：

- 电机必须更复杂才能集成再生制动模式。
- 电子设备必须考虑再生制动模式，使其更加复杂。
- 制造更加密集，组件成本更高。
- 除非其他因素可帮助降低由此产生的成本，否则消费者要以更高的价格购买。

8.3.4 使用替代能源为电动自行车充电

对于那些愿意为这种方法进行投资的人来说，太阳能或风能技术可支持电动自行车的充电。可通过以下方式之一建立此方法：

- 太阳能设计做得足够好，可建造一个定制的太阳能充电站
- 投资太阳能或风能套件，有时可用作专为电动自行车建造的充电站

8.3.5 适用的制动器

鉴于电动自行车的重量和速度增加，传统的轮辋制动器可能无法提供足够的制动力，尤其是在潮湿路面上。盘式制动器的使用寿命更长，需要的维护更少，并且在潮湿路面上可良好运行。再生制动模式在一定程度上可用。

8.3.6 电池和电机位置

低重心能够而且将会提供出色的操控性，但对于一些极为常见的自行车来说，在座椅后面的自行车架上安装至少一个电池（两个一组）的情况并不少见。这种电池通常是两者中较小的一个。

8.3.7 高性能悬架

电动自行车的速度和重量更大，因此需要超过普通自行车的悬架。高品质的名牌前后悬架使骑手的身体在更高的速度下保持舒适并保护电子设备。

8.3.8 灯光

防水大灯的作用是您可以看到和被看到，与前几代大灯相比，集成到高功率电动自行车中可提高亮度并延长寿命。集成无需再使用单独的电池或基于动力学的光生成。

8.3.9 复合材料车轮和轮辋

重量轻，集成尽可能多的组件，增加了骑手和有效载荷的可用功率。但是，不能牺牲质量、强度和安全性。考虑使用新型车轮和轮毂材料可带来的收益。轻质材料，当真正达到先进技术标准时，可在不影响强度的情况下提高性能。

8.3.10 现成的 BLDC 电机控制参考设计

表 8-1. 无刷直流套件和器件

EVM 套件	电机驱动器	标称电池电压	驱动程序特性	控制 MCU	控制技术
BOOSTXL-DRV8320x	DRV8320	24V/36V	智能栅极驱动	MSP430F5529	梯形含传感器/无传感器
BOOSTXL-DRV8323x	DRV8323R	24V/36V	智能栅极驱动、内置降压稳压器、3 个电流感应放大器	TMS320F28027F	场定向控制，梯形含传感器/无传感器
DRV8350x-EVM	DRV8350	24V/36V/48V	智能栅极驱动	MSP430F5529	梯形含传感器/无传感器
DRV8353Rx-EVM	DRV8353R	24V/36V/48V	智能栅极驱动、内置降压稳压器、3 个电流感应放大器	TMS320F28027F	场定向控制，梯形含传感器/无传感器
DRV8343x-Q1EVM	DRV8343-Q1	24V/36V	汽车 Q100，智能栅极驱动	TMS320F28027F	场定向控制，梯形含传感器/无传感器

请注意，上述 EVM 均提供“H”或“S”变体。“H”器件通过外部电阻器提供器件设置的硬件控制。“S”器件通过标准 EVM GUI 软件提供器件设置的 SPI 控制。

9 结论

本应用报告列出了设计电动自行车的硬件设计指南。本报告还列出了有效选择电动自行车主要组件的标准，例如电机选型、电池选型和控制器选型。另外还列出了控制器的附加保护功能以及用于设计优雅型电动自行车的各种机械组件选择。微控制器由用户自行选择。TI 针对该设计提供了很多选项，并组建相关应用团队来为相应的 TI 微控制器提供支持服务。

10 参考文献

1. *电动自行车：设计和使用指南* (Morchin 和 Henryoman, 2005 年)
2. [InstaSPIN™-BLDC](#)

11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (June 2019) to Revision B (June 2021)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。.....	3

重要声明和免责声明

TI 提供技术和可靠性数据 (包括数据表)、设计资源 (包括参考设计)、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源, 不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保, 包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任: (1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品, (2) 设计、验证并测试您的应用, (3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有变更, 恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务, TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.ti.com) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司