



基于LKS32MC03x的吸尘器方波切正弦 解决方案



凌鸥方波转正弦启动方案特点

- 基于稳定可靠的方波启动算法，对电机的适配性上优于正弦波启动方式
- 恒功率限速控制，控制稳定
- 保护齐全可靠，过欠压、硬件过流、软件过流、超速、缺相、过温保护
- 芯片内部集成5VLDO，预驱能工作在5V电压，满足两节电池的应用需求
- 两路硬件比较器过流保护，可同时保护主电机和地刷电机，及时保护电路硬件
- 内部集成了预驱，5VLDO、两路运放、两路比较器、自举二极管、反电动势检测电路，电路精简，节省BOM成本

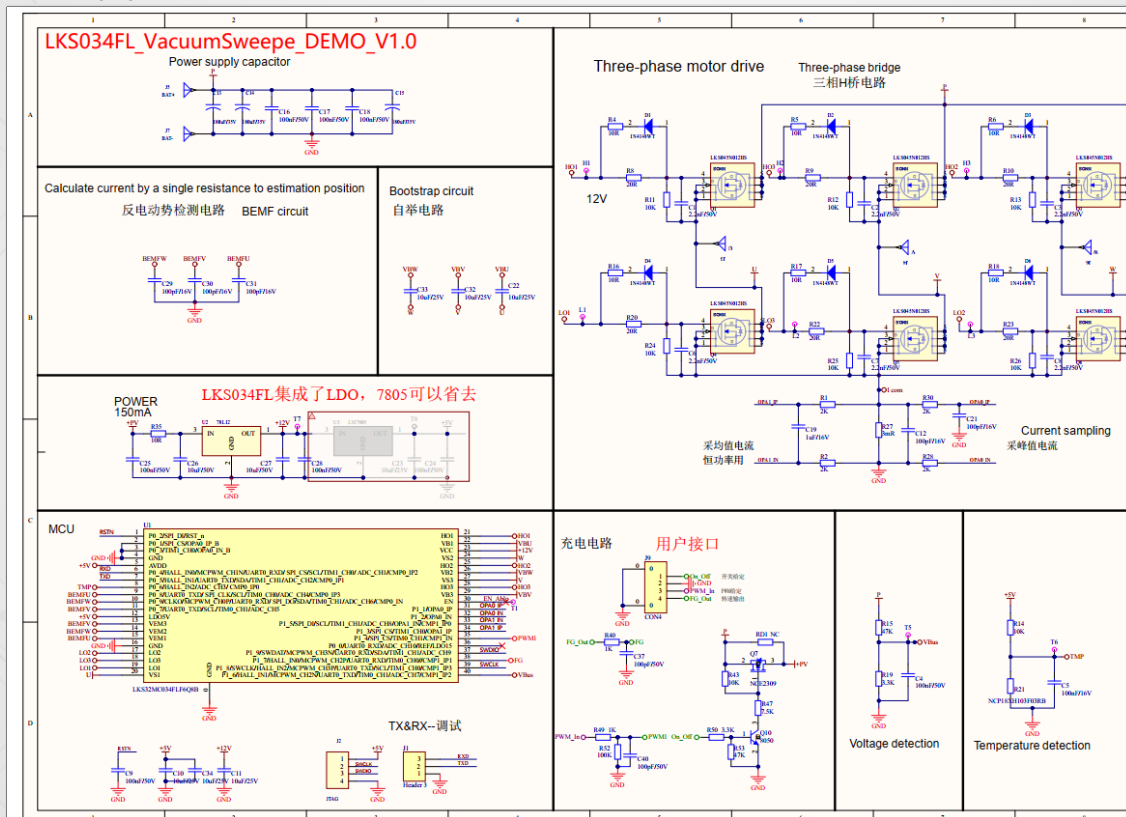


吸尘器03方波切正弦方案硬件电路设计 - 1

凌鸥创芯

围绕产业链 · 打造创新链

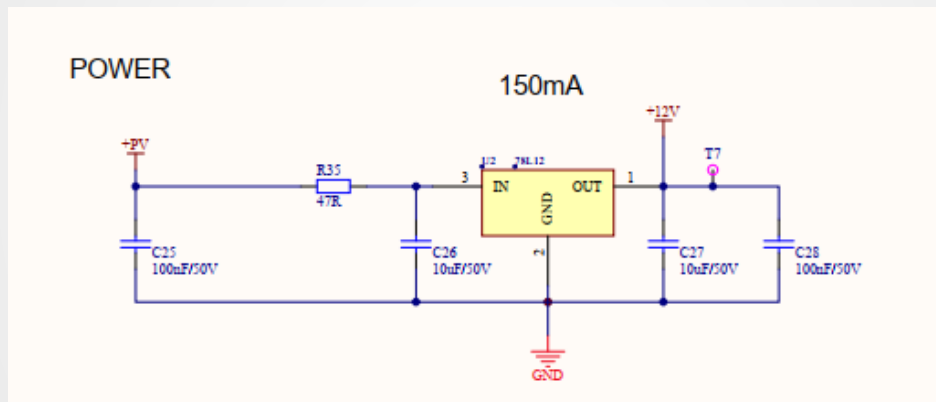
➤ 精简的外围驱动电路





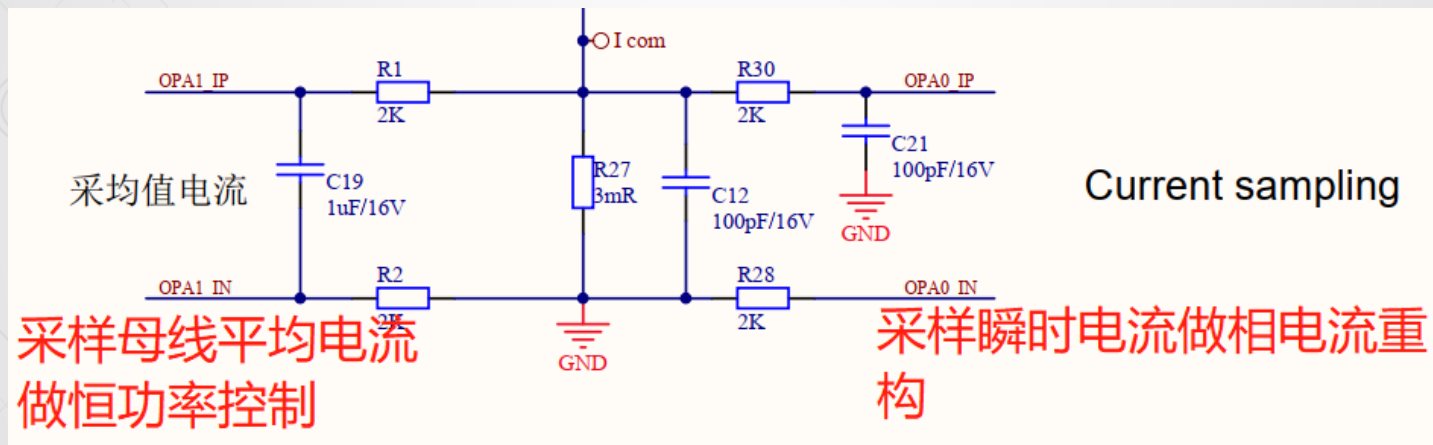
吸尘器/洗地机硬件电路设计 - 2

- 芯片内部有集成5VLDO，集成预驱的供电范围是4.5V~20V，如果产品供电范围较高时，电路里需要加个78L12，如果产品供电范围较小不需要78L12，比如两节电池的应用。





- 用两路运放分别采样母线电流的峰值和均值，峰值做相电流重构，均值做功率计算





吸尘器03方波切正弦方案软件框架

硬件模块初始化：GPIO、ADC、MCPWM、
定时器、比较器、DAC、运放

软件初始化：观测器、电流环、功率环、
速度环、全局变量

1ms时基

获取：
母线电压、
母线电流、
输出功率、
电机转速、
PWM占空比、
NTC温度

各种保护逻辑：
过欠压、
短路过流、
过温、
超速、
堵转、
缺相

状态机：
电机状态检测、
方波启动、
正弦波运行、
功率环、
速度环、
弱磁控制、
停机刹车

22Khz的ADC中断时基

FOC算法：
电流采样，
坐标变换，
电流环运算，
角度估算，
PWM输出

快速响应事件：
软件过流保护、
快速欠压保护、
FG信号输出



➤ 速度调节方式选择

```
User.h
7
8
9 // 速度调节方式
10 #define FAST_Control (0) // 上电直接运行
11 #define PWM_Control (1) // PWM占空比调速
12 #define PWM_AD_Control (2) // PWMAD信号调速
13 #define VsP_Control (3) // 电压信号调速
14 #define CLK_Control (4) // 频率信号调速
15 #define Debug_Control (5) // 调试用，给固定值
16 #define Button_Control (6) // 按键调速模式
17 #define Speed_Control_Mode (0)
18 // 功率设定
19 #define POWER_MAX_0W01_MIN (20 * 100) // 最大运行功率 单位：0.01W
20 #define POWER_MAX_0W01_MAX (250 * 100) // 最小运行功率 单位：0.01W
21 // 按键设定
22
23 // PMM调速信号输入逻辑
24 #define PWM_POSITIVE_LOGIC (0) // 正占空比输入
25 #define PWM_NEGATIVE_LOGIC (1) // 负占空比输入
26 #define PWM_INPUT_MODE (PWM_POSITIVE_LOGIC)
27 // PWM调速
28 #define PWM_DUTY_STOP (800) // 满功率PWM给定值 单位：0.01%
29 #define PWM_DUTY_START (1000) // 满功率PWM给定值 单位：0.01%
30 #define PWM_DUTY_MAX (9000) // 满功率PWM给定值 单位：0.01%
31 // PWM AD调速
```



➤ 硬件参数配置

User.h

```
37 //=====
38 // 硬件参数配置
39 #define RSHUNT (0.003) // 采样电阻阻值 单位: Ω
40 #define VOLTAGE_SHUNT_RATIO ((3.3/(36.0 + 3.3))) // 母线电压采样电阻的分压比
41 #define BUS_VOLTAGE_0V01_RATIO (s16)((float)3.6/VOLTAGE_SHUNT_RATIO*100) // 母线电压分压比系数
42 #define BUS_CUR_OA01_RATIO (s16)((float)(3.6*100)/RSHUNT)/AMPLIFICATION_GAIN // 母线电流倍率系数
43 #define AMPLIFICATION_GAIN (16.666) // 相电流采样的运放放大倍数 200k/(10k+2k)
44
45 #define PWM_FREQ ((u16)22000) // PWM斩波频率
46 #define DEADTIME_NS ((u16)1800) // 死区时间 单位: ns
47 #define SAMP_STABLE_TIME_1SHUNT (900)/(1200) // 单电阻采样,信号稳定时间设置 单位: ns
48
49 #define U_RATED_VOLTAGE (25.2)/(25.2) // 电机额定工作电压 单位: v
50 #define U_RATED_CURRENT (40.0) // 电机额定工作电流 单位: A
51 #define U_MAX_FREQ (4000.0) // 电机最高运行转速 单位: Hz
52
53 #define BOARD_TYPE (0) // 控制板类型: 0: 034S, 1: 034F
54 #define ADC_1SHUNT_CURR_CH ADC_CHANNEL_OPA0 // 相电流ADC采样通道
55 #define ADC_BUS_CURR_CHANNEL ADC_CHANNEL_OPA1 // 母线电流ADC采样通道
56 #if (BOARD_TYPE == 0)
57 #define ADC_BUS_VOL_CHANNEL ADC_CHANNEL_10 // 母线电压ADC采样通道
58 #define ADC0_TEMP_CHANNEL ADC_CHANNEL_4 // 温度检测ADC采样通道
59 #define BEMF_CH_A ADC_CHANNEL_1 // A相反电势检测ADC通道
60 #define BEMF_CH_B ADC_CHANNEL_2 // B相反电势检测ADC通道
61 #define BEMF_CH_C ADC_CHANNEL_3 // C相反电势检测ADC通道
62 #define PWM_AD_CHANNEL ADC_CHANNEL_7 // PWM_AD检测ADC通道
63 #else
64 #define ADC_BUS_VOL_CHANNEL ADC_CHANNEL_1 // 母线电压ADC采样通道
65 #define ADC0_TEMP_CHANNEL ADC_CHANNEL_3 // 温度检测ADC采样通道
66 #define ADC1_TEMP_CHANNEL ADC_CHANNEL_4 // 温度检测ADC采样通道
```



➤ 正弦波启动参数

```
72 // 弦波启动参数
73 #define START_CURRENT (10.0) // 启动电流 单位: A
74 // 弦波运行参数
75 #define BLDC_FOC_ENABLE (1) // 0: FOC, 1: BLDC_FOC
76 #if (BLDC_FOC_ENABLE == 0)
77 #define START_VOL_BOOST (10.0)
78 #define OPEN_ANGLE_TAG_FREQ (40.0) /* 单位: Hz 开环拖动最终频率 */
79 #define BLDC_TO_FOC_FREQ (0.0) /* 单位: Hz 开环拖动最终频率 */
80 #define FREQ_ACC (16.0) /* 单位: (1/128)Hz/ms 开环拖动频率加速调整值 */
81 #define FREQ_DEC (16.0) /* 单位: (1/128)Hz/ms 开环拖动频率减速调整值 */
82 #define START_DIVISOR (5) // 启动滤波系数1
83 #define START_OBSFACTOR (16) // 启动滤波系数2
84 #define OBS_COEF (0.3) // 启动滤波系数3
85 #define OBS_MIN_OUT_SPEED (100) // 启动观测器最小输出电频率, 单位: 0.1Hz
86 #define OBS_MAX_OUT_SPEED (5000) // 启动观测器最大输出电频率, 单位: 0.1Hz
87 #define PLL_KP_GAIN (1500) // 启动PLL_KP
88 #define PLL_KI_GAIN (15) // 启动PLL_KI
89 #define PLL_KP_GAIN_H (400) // 运行PLL_KP
90 #define PLL_KI_GAIN_H (100) // 运行PLL_KI
91 #else
92 /***** 用不着但要定义的参数 *****/
93 #define START_VOL_BOOST (0.0)
94 #define OPEN_ANGLE_TAG_FREQ (0.0) /* 单位: Hz 开环拖动最终频率 */
95 #define BLDC_TO_FOC_FREQ (55.0) /* 单位: Hz 开环拖动最终频率 */
96 #define FREQ_ACC (0.0) /* 单位: (1/128)Hz/ms 开环拖动频率加速调整值 */
97 #define FREQ_DEC (0.0) /* 单位: (1/128)Hz/ms 开环拖动频率减速调整值 */
98 #define START_DIVISOR (0) // 启动滤波系数1
99 #define START_OBSFACTOR (0) // 启动滤波系数2
100 #define OBS_COEF (0.0) // 启动滤波系数3
101 #define OBS_MIN_OUT_SPEED (100) // 启动观测器最小输出电频率, 单位: 0.1Hz
102 #define OBS_MAX_OUT_SPEED (11000) // 启动观测器最大输出电频率, 单位: 0.1Hz
103 /*****
104 #define PLL_KP_GAIN (6000) // 启动PLL_KP
105 #define PLL_KI_GAIN (50) // 启动PLL_KI
106 #define PLL_KP_GAIN_H (400) // 运行PLL_KP
107 #define PLL_KI_GAIN_H (300) // 运行PLL_KI
108 */
```



➤ 方波启动参数

```
109 //=====
110 // 方波启动参数
111 #define BLDC_START_2FOC_ENABLE          (1)           // BLDC启动切换到FOC开关, 1: 使能, 0: 不使能
112 #define BLDC_TO_FOC_HZ                  (100)         // 方波切正弦波的速度, 单位: Hz
113 #define BLDC_AUTO_DUTY_ENABLE          (1)           // 1: 程序自动识别启动占空比; 0: 手动设置启动占空比
114 #define BLDC_START_DUTY_SET             (0.06)        // 方波启动最小占空比 (0~1)
115 #define BLDC_FINAL_DUTY_SET            (0.15)         // 方波运行最大占空比 (0~1)
116 #define BLDC_DUTY_ADD                   (1)           // 方波占空比累加步进 (1~10)
117 #define CURRENT_LIMIT                   (float) (20.0) // 方波运行限流单位: A
118
```



➤ 电流环/速度环/功率环参数

```
120 // 电流环参数
121 #define P_CURRENT_KP_H           (2000)           // 启动该电流环KP
122 #define P_CURRENT_KI_H           (2000)           // 启动电流环KI
123 #define P_CURRENT_KP             (4500)           // 运行电流环KP
124 #define P_CURRENT_KI             (250)            // 运行电流环KI
125 // 功率环参数
126 #define POWER_KP                 (8000)           // 功率环/速度环KP
127 #define POWER_KI                 (160)            // 功率环/速度环KI 功率换PI改大可加快启动速度，相应过冲会变大些
128 #define POWER_IQMIN              (5.0)            // 功率环输出最小电流值 单位:A
129 #define POWER_IQMAX              (25.0)           // 功率环输出最大电流值 单位:A
130 // 速度环参数
131 #define P_ASR_KP                 (1000)           // 速度环Kp
132 #define P_ASR_KI                 (250)            // 速度环Ki
133 #define IQMAX                    (25.0)           // 速度环输出最大值,单位:A
134 #define IQMIN                    (5.0)            // 速度环输出最小值,单位:A
135 // 加减速参数
136 #define POWER_SET_FILTER_COEF    (200)            // 功率爬坡滤波系数: 1~32767
137 #define SPEED_SET_FILTER_COEF    (1000)           // 速度爬坡滤波系数: 1~32767
138 #define CUR_Q_FILTER_COEF        (2000)           // Q轴电流爬坡滤波系数: 1~32767
139 #define CUR_D_FILTER_COEF        (2000)           // D轴电流爬坡滤波系数: 1~32767
140 // 功率/转速/电流限制方式
141 #define MOTOR_RAP_LIMIT_VALUE    (110000)         // 限速值 单位: Rap(转/分钟)
142 #define BUS_CURRENT_LIMIT_0A01   (2000)           // 限母线电流值 单位: 0.01A
143 // 根据PWM占空比计算功率给定值
144 #define POWER_SET_A               ((float)(POWER_MAX_OW01_MAX - POWER_MAX_OW01_MIN)/(PWM_DUTY_MAX - PWM_DUTY_START))
145 #define POWER_SET_B               (POWER_MAX_OW01_MIN - (PWM_DUTY_START*POWER_SET_A))
146 #define POWER_MAX_OW01_SET        POWER_MAX_OW01_MAX // 功率给定值 单位: 0.01W
```



吸尘器03方波切正弦方案程序介绍 - 6

凌鸥创芯

围绕产业链·打造创新链

➤ 各种保护配置

```
148 // 故障保护使能
149 #define STALL_PROTECTION_FUNCTION          (1)           // 1: 堵转保护使能, 0: 堵转保护不使能
150 #define OVERSPEED_PROTECTION_FUNCTION      (1)           // 1: 超速保护使能, 0: 超速保护不使能
151 #define PHASE_PROTECTION_FUNCTION          (1)           // 1: 缺相保护使能, 0: 缺相保护不使能
152 #define TEMP_PROTECTION_FUNCTION           (0)           // 1: 温度保护使能, 0: 温度保护不使能
153 //故障保护是否恢复使能
154 #define FULT_WOI_TAGE_RECOVER_ENABIE      (1)           // 欠压保护恢复使能
155 //=====
156 // 电机保护参数设置
157 // 过欠压保护参数
158 #define BATTERY_NUMBER                     (8)
159 #define U_DCB_OVERVOLTAGE_FAULT            (39.0)/(5.0*BATTERY_NUMBER) // 过压保护判断阈值 单位: V
160 #define U_DCB_OVERVOLTAGE_RECOVER         (38.0)/(4.7*BATTERY_NUMBER) // 过压保护恢复阈值 单位: V
161 #define U_DCB_UNDERVOLTAGE_FAULT          (12.5)/(2.0*BATTERY_NUMBER) // 欠压保护判断阈值 单位: V
162 #define U_DCB_UNDERVOLTAGE_FAULT_Fast     (11.0)/(1.5*BATTERY_NUMBER) // 欠压保护判断阈值 单位: V
163 #define U_DCB_UNDERVOLTAGE_RECOVER        (13.0)/(1.8*BATTERY_NUMBER) // 欠压保护恢复阈值 单位: V
164 #define VOLT_FAULT_CHECK_TIME             (10)           // 过压保护判断持续时间 单位: 5ms
165 #define VOLT_FAULT_RECOVER_TIME           (10)           // 欠压保护恢复持续时间 单位: 5ms
166 // 缺相保护参数
167 #define PHASE_PROTECTION_TIME_CNT          (100)         // 缺相保护持续检测时间 单位: 5ms
168 // 短路过流保护参数
169 #define SHORT_CURRENT_A                   (80.0)         // 短路过流保护电流值 单位: A
170 #define SHORT_CURRENT_TIME                (10)           // 短路过流保护判断的滤波时间 范围: (0~15), 0对应0.166
171 // 软件过流保护检测参数
172 #define I_PH_OVERCURRENT_FAULT            (80.0)         // 软件过流保护电流值 单位: A
173 // 启动失败保护参数
174 #define STARTUP_FAILED_TIME_CNT           (200)         // 电机转速低于10000rap持续时间 单位: 5ms
175 #define RESTART_CNT                       (0)            // 允许重启次数
176 // 超速保护参数
177 #define OVERSPEED_MAX                     (112000)       // 功率给定值 单位: Rap
178 #define OVERSPEED_MIN                     (67000)       // 满功率PWM给定值 单位: Rap
179 #define OVERSPEED_TIME_CNT                (1200)        // 超速保护动作时间 单位: 5ms
180 #define OVERSPEED_SET_A                   ((float)(OVERSPEED_MAX - OVERSPEED_MIN)/(POWER_MAX_OW01_MAX - POWER_MAX_OW01_MIN))
181 #define OVERSPEED_SET_B                   ((float)(OVERSPEED_MIN - (POWER_MAX_OW01_MIN*OVERSPEED_SET_A))
182 #define OVERSPEED_PROTECTION_TIME_CNT     (600)         // 超速保护持续检测时间 单位: 5ms
183 // 温度保护参数
```



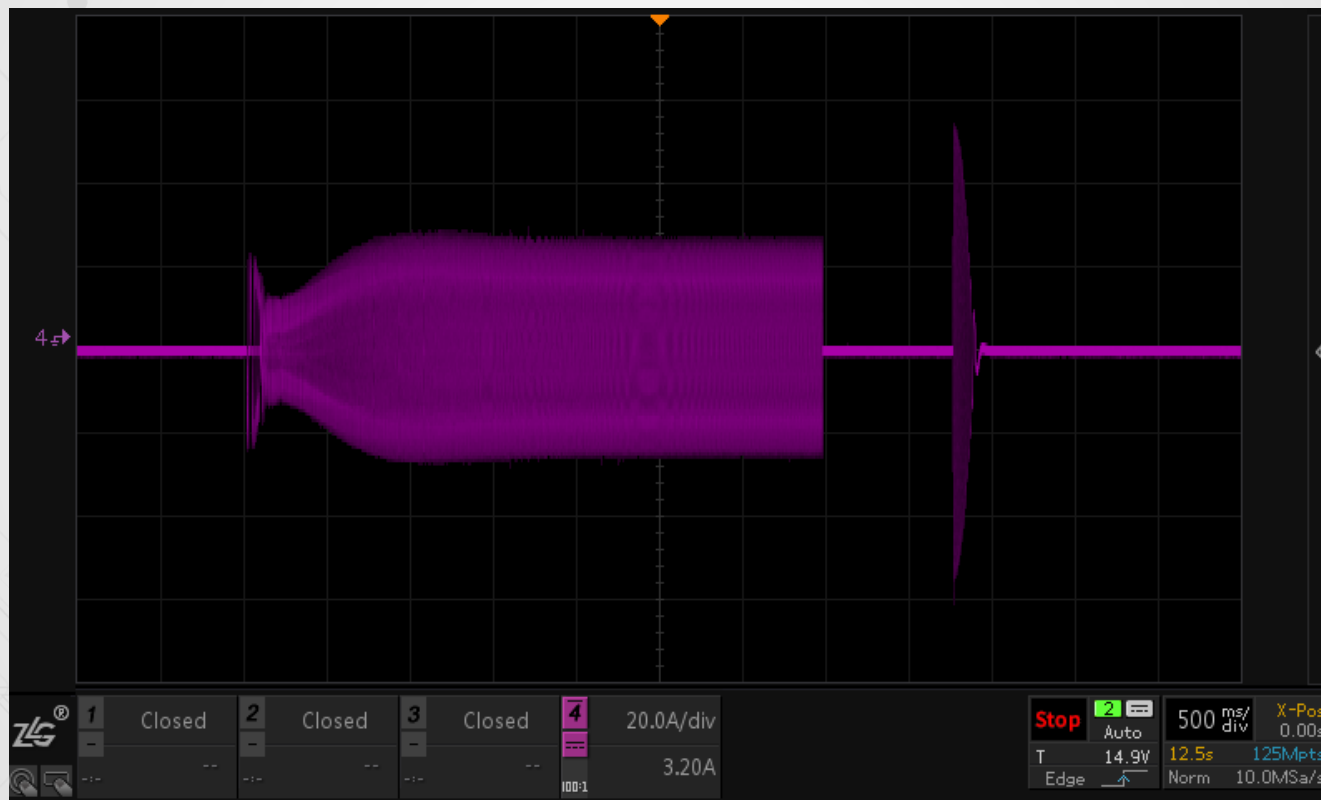
➤ 停机方式/弱磁功能的配置

```
206 //=====
207 // 停机方式
208 #define MOTOR_STOP_BREAK_ENABLE           (1)           // 1: 停机刹车使能, 0: 停机刹车不使能
209 #define MOTOR_STOP_BREAK_TIME              (1000)         // 停机刹车时间 单位: ms
210 #define BREAK_MAX_SPEED                    30000          // 顺风起起速度阈值 单位: Rap
211 #define BREAK_MAX_OHZ1                     (u16) (BREAK_MAX_SPEED/6)
212 // BEME反电动势顺风参数
213 #define STATIC_STARTUP_MAX_VOL             100
214 #define WIND_STARTUP_MIN_SPEED              7000          // 静止起速度阈值 单位: Rap
215 #define WIND_STARTUP_MAX_SPEED              30000          // 顺风起起速度阈值 单位: Rap
216 #define WIND_STARTUP_MIN_OHZ1              (u16) (WIND_STARTUP_MIN_SPEED/6)
217 #define WIND_STARTUP_MAX_OHZ1              (u16) (WIND_STARTUP_MAX_SPEED/6)
218 // 弱磁功能
219 #define FW_ENABLE                           (1)           // 1: 弱磁使能, 0: 弱磁不使能
220 #define ID_MAX                             (15.0)         // 弱磁最大电流限制 单位: A 根据不同的电机这个值需要调整
221 #define ID_MAX_SET                         App2CoreCurTrans (User2AppCurTrans (ID_MAX))
222 // 控制环路
223 #define CURRENT_LOOP                        (0)           // 电流环
224 #define SPEED_LOOP                         (1)           // 速度环
225 #define POWER_LOOP                         (2)           // 功率环
226 #define CLOSE_LOOP                         (POWER_LOOP)   // 环路选择
227 // FG转速输出
228 #define FG_FUNCTION                         (1)           // 1: FG输出使能, 0: FG输出不使能
229
```



吸尘器03方波切正弦方案启动效果图 - 1

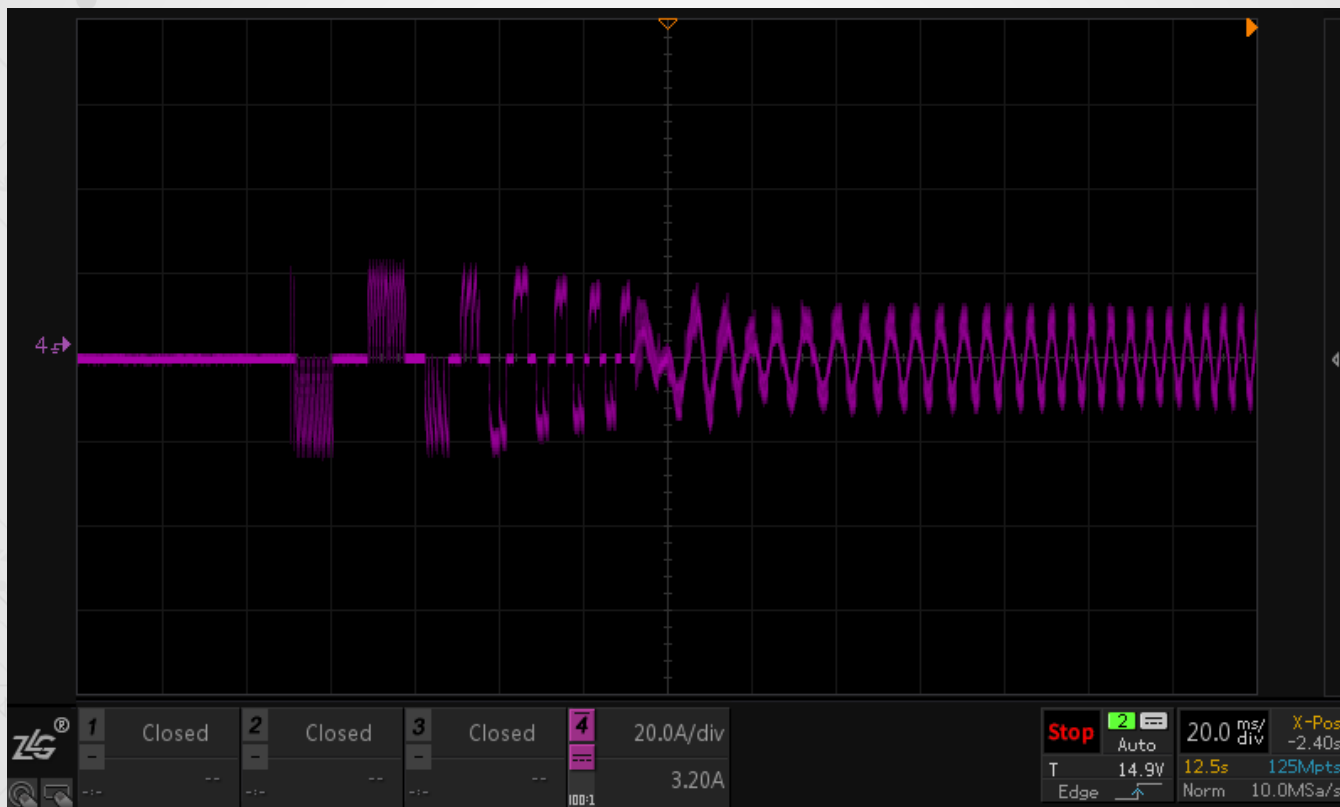
- 方波启动，兼容性好，稳定性好





吸尘器03方波切正弦方案启动效果图 - 2

- 方波启动，兼容性好，稳定性好

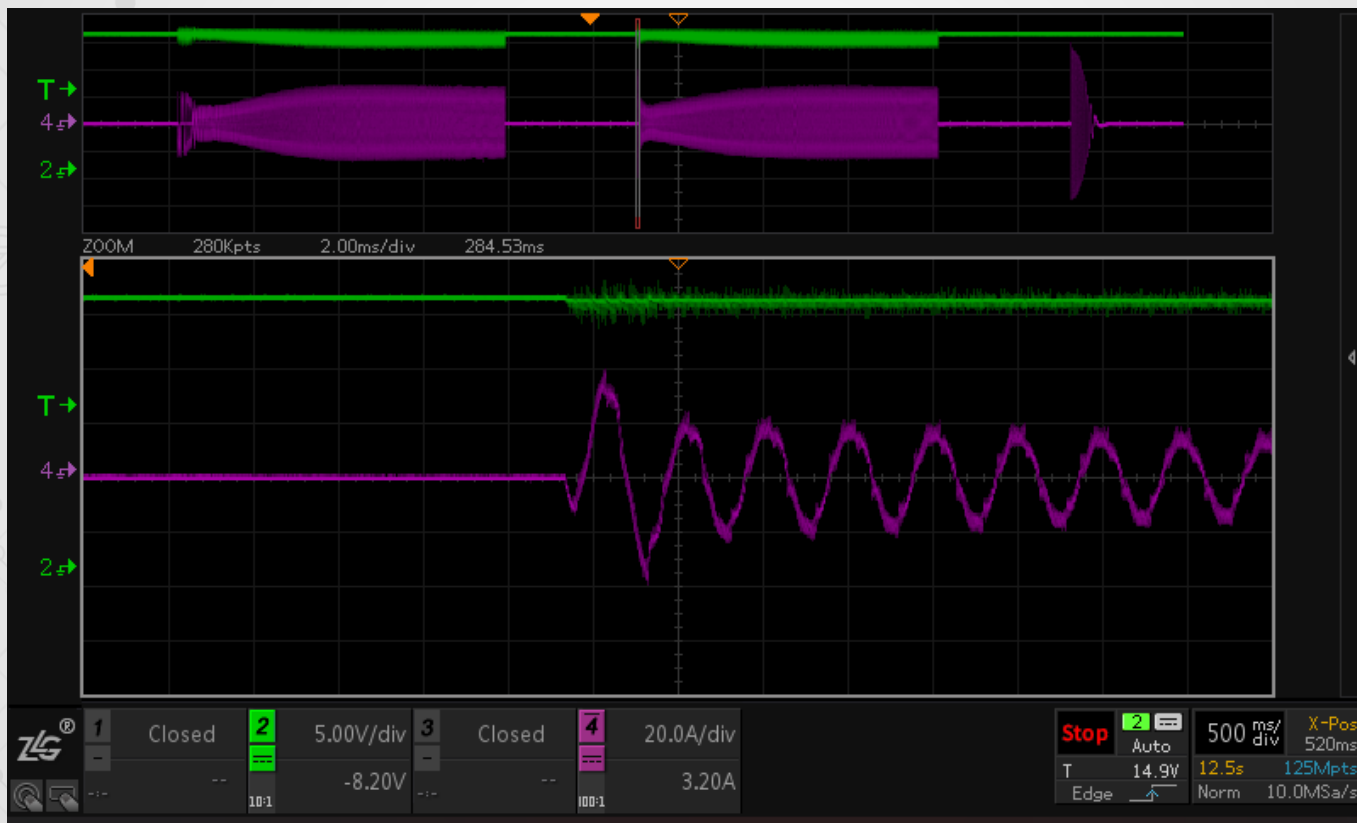




吸尘器03方波切正弦方案顺风启动效果图

- 3

➤ 母线电压不抬升(绿色线)



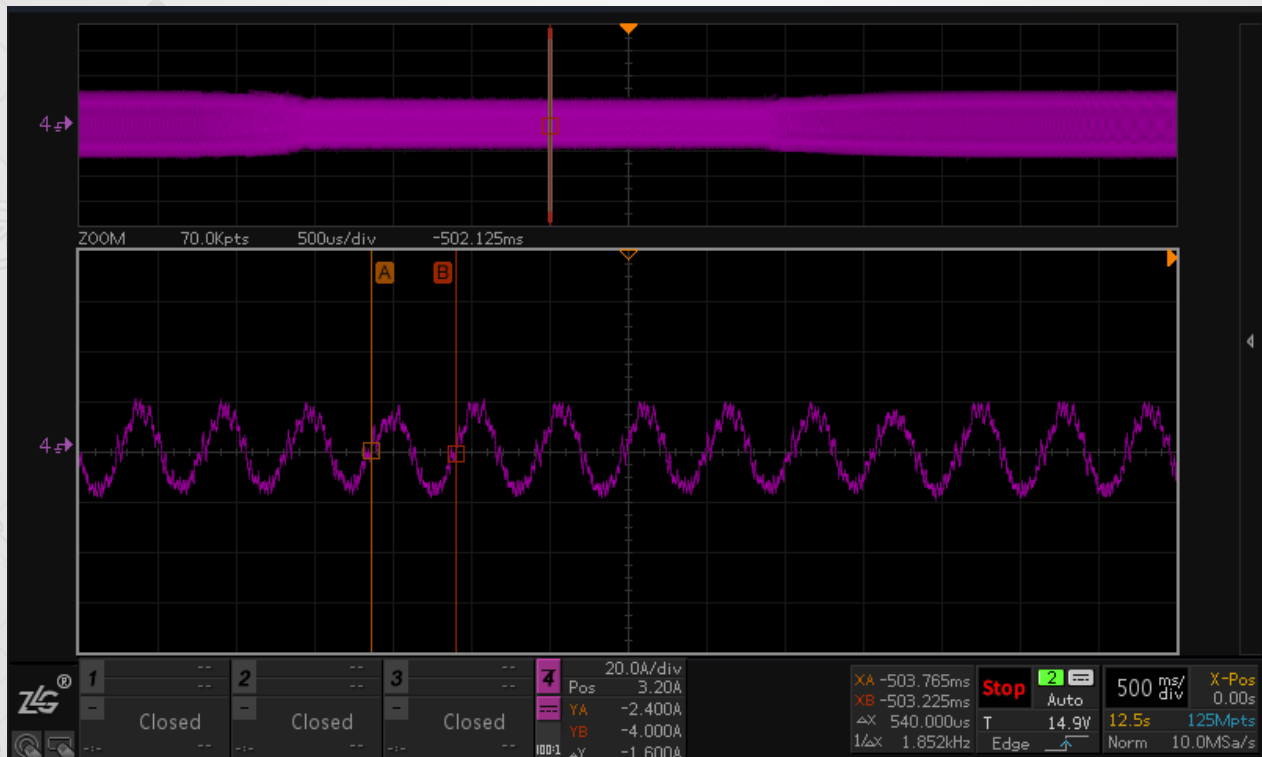


吸尘器03方波切正弦方案堵孔运行效果图 - 4

凌鸥创芯

围绕产业链 · 打造创新链

➤ 堵0孔限速波形





江苏省南京市经济技术开
发区兴智科技园B栋15层
<http://www.linkosemi.com>

為天地立心
為控制塑魂

创芯驱动，领航电控未来！

正直诚信！ 利他共赢！ 成长超越！