

AN1292 调整指南

本文档介绍了使用 AN1292 《利用 PLL 估算器和弱磁技术 (FW) 实现永磁同步电机 (PMSM) 的无传感器磁场定向控制 (FOC)》(DS01292A_CN) 中所述的算法来运行电机的分步过程。

1.1 设置软件参数

userparms.h 文件中定义了所有的主要可配置参数。使用 tuning_params.xls Excel® 电子表格 (见图 1-1) 将参数修改为内部数值格式。此文件包含在 AN1292 归档文件中, 可以从 Microchip 网站 (www.microchip.com) 下载此文件。

将电机和硬件信息输入到此电子表格中之后, 需要根据下面介绍的步骤, 将计算出的参数输入到 userparms.h 头文件中。

图 1-1: tuning_params.xls

Input parameters		Output parameters		
Peak voltage	24 V	NORM_VOLTAGE_CONST (U0)	0.000406	
Peak current	5 A	NORM_CURRENT_CONST (I0)	0.000153	
PWM Period (Ts)	0.000050 s	NORM_OMEGA_CONST (W0)	0.104720	
Dead time	0.000002 s			
Pole pairs	5			
Stator resistance (Rs)	2.67 Ohm	Predivision		
Stator inductance (Ls)	0.00192 H	NORM_RS	32886	2 16443
Voltage constant (Kf)	7.24 Vp/KRPM	NORM_LSDTBASE	472965	256 1848
Nominal speed (NOMINAL_SPEED_RPM)	2800 RPM	NORM_INVKFIBASE	15912	2 7956
Maximum speed (MAXIMUM_SPEED_RPM)	5500 RPM	NORM_DELTAT	1790	
		D_ILIMIT_HS	1502	
		D_ILIMIT_LS	6117	
Inverter parameter				
Motor parameter				
Constant to set in "userparms.h"				
Motor Identification				
Hurst NTDynamo Brushless				
DMB0224C10002 CL B 16208				
24VDC 1.00 Amp 86293				
Hurst Mfg., Princeton, IN				

第 1 步 —— 填写 tuning_params.xls Excel 电子表格中的以下参数:

a) 峰值电压

Peak Voltage 表示直流链路电容上的峰值电压。它还表示直流电源连接到直流链路时的直流电压本身。如果从单相整流桥提供直流链路, 则交流峰值电压将与整流器连接:

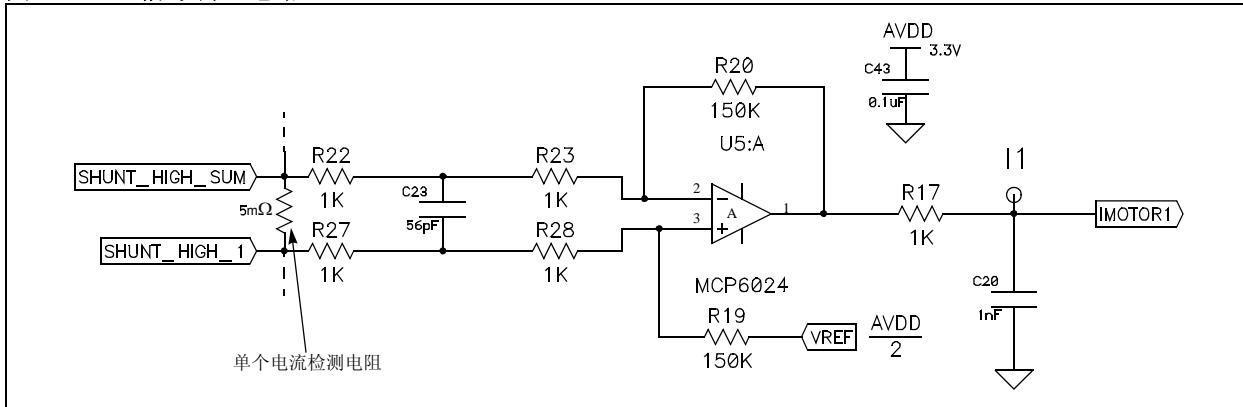
$$V_{ACpeak} = V_{ACrms} \cdot \sqrt{2}$$

演示软件中使用了一个 24 VDC 电源, 因此 Excel 电子表格中包含相应的值。如果您要使用高电压 PMSM, 则 115 VAC 的峰值电压为 163V。

b) 峰值电流

Peak current 代表可以在内部表示的电流最大实际值，它取决于采集模块。考虑 ADC 的最大输入为 3.3V，采集电路的增益和电流检测电阻的值决定了适合 dsPIC® DSC 内部数字表示的最大电流值。反之，内部数字表示处于上限的电流也表示峰值电流，因为可能会将其输入到指示的 Excel 电子表格字段中。

图 1-2: 信号调理电路



对于上面图 1-2 中显示的电路，电流采集电路的放大增益为：

$$G = \frac{R20}{R22 + R23} = 75$$

MCLV 的电流检测电阻值为 5 mΩ，利用 ADC 输入可承受的最大电压 3.3V，可以得出最大电流读数：

$$I_{max} = \frac{V_{REF}}{\text{电流检测电阻值} \cdot \text{增益}} = \frac{\frac{3.3}{2}}{0.005 \cdot 75} = 4.4A$$

请注意，计算出的峰值电流 (I_{max}) 与 Excel 电子表格文件（图 1-1）中指示的峰值电流不同，这是因为第二个值是通过实验确定的，本文档后面的部分将对其进行介绍（第 3-d 步）。

c) PWM 周期和死区

PWM Period 是此算法 (AN1292) 的采样和控制周期。死区表示功率半导体器件从上一状态中恢复所需的时间，以防在任何逆变器桥臂上出现直通。在这些字段中输入的值应与使用的值一致。

本应用笔记中包含的演示软件使用 2 μs 的死区，而使用的 PWM 周期为 50 μs，即 PWM 频率为 20 kHz。

d) 电机的电气参数

对于参数 *Stator resistance (Rs)*、*Stator inductance (Ls)* 和 *Voltage constant (Kfi)*，请输入电机制造商提供的信息，也可以通过实验方式确定。

有关通过实验方式计算 *Kfi* 的详细信息，请参见应用笔记 AN1292 的“调整和实验结果”一节。

e) 标称速度和最大速度

Nominal speed 是制造商提供的参数，它表示在电机标牌上标示的标称电流和电压下可达到的速度。

Maximum speed 也是制造商提供的参数，它主要取决于电机的机械参数。可以发现，最大速度大于标称速度，并且两个值之间的区域处于恒定功率模式，这表示应用了弱磁技术。

f) 预除法因数

Predivision 列对应于一个缩放常数，该缩放常数用于将计算出的归一化值转换到数值表示范围 [-32768, 32767] 中。预除法缩放不仅应将常数转换至该范围，对于电压常数 (Kfi) 倒数，也应该对其最初计算出的值进行除法运算，以便之后由于弱磁技术而增加时，该值不会溢出数值表示范围。

在软件代码中可以找到除法运算项（左移）形式的预除法因数。

例如，NORM_LSDTBASE 预除法缩放因子在电子表格中为 256，这会体现为以下代码行：

estim.c

```
118     EstimParm.qVIndbeta= ((long)MotorEstimParm.qLsDt * (EstimParm.qDIbeta))>>7;
```

可以发现，由于之前的预除法因数为 2^8 ，最终右移 7 位，而不是 15 位。

NORM_RS 的情况与之相同，它预除以 2，以便使 NORM_RS 保持在范围内，防止数值溢出。这会使 estim.c 的相应代码部分移位 14 位而不是 15 位的以抵消最初的预除法因数：

estim.c

```
133     EstimParm.qEsa          =          EstimParm.qLastValpha -  
134     (((long) MotorEstimParm.qRs * (long) ParkParm.qIalpha) >>14)  
135     -EstimParm.qVIndalpha;
```

对于 NORM_INVKFIBASE，预除数是 2，并在以下代码行中进行乘法来抵消预除法因数：

estim.c

```
209     EstimParm.qOmegaMr=EstimParm.qOmegaMr<<1;
```

第 2 步 —— 将生成的参数导出到 `userparms.h`

右侧列中分组为输出参数的生成值将被输入到 `userparms.h` 文件中的相应定义。

请注意, *Output parameters* 中的各项具有不同的颜色, 这精确地表示出应将哪些项直接复制并粘贴到软件代码中。

`userparms.h`

```
139 #define NORM_CURRENT_CONST      0.000153
140 /* normalized ls/dt value */
141 #define NORM_ISDTBASE 1848
142 /* normalized rs value */
143 #define NORM_RS 16433
144 /* the calculation of Rs gives a value exceeding the Q15 range so,
145 the normalized value is further divided by 2 to fit the 32768 limit */
146 /* this is taken care in the estim.c where the value is implied */
147 /* normalized inv kfi at base speed */
148 #define NORM_INVKFIBASE 7956
149 /* the calculation of InvKfi gives a value which not exceed the Q15 limit */
150 /* to assure that an increase of the term with 5 is possible in the lookup table
151 /* for high flux weakening the normalized is initially divided by 2 */
152 /* this is taken care in the estim.c where the value is implied */
153 /* normalized dt value */
154 #define NORM_DELTAT 1790
155
156 // Limitation constants
157 /* di = i(t1)-i(t2) limitation */
158 /* high speed limitation, for dt 50us */
159 /* the value can be taken from attached xls file */
160 #define D_ILIMIT_HS 1502
161 /* low speed limitation, for dt 8*50us */
162 #define D_ILIMIT_IS 6117
163
133 /* Nominal speed of the motor in RPM */
134 #define NOMINAL_SPEED_RPM 2800 // Value in RPM
135 /* Maximum speed of the motor in RPM - given by the motor's manufacturer */
136 #define MAXIMUM_SPEED_RPM 5500 // Value in RPM
137
130 //***** Motor Parameters *****
131 /* motor's number of pole pairs */
132 #define NOPOLESPAIRS 5
```

第3步——首先，调整开环

a) 使开环工作

在 FOC 软件代码中启用一个特殊的 `#define` 可以单独运行开环调整；否则将自动进行到闭环控制的过渡。确保禁止闭环过渡以进行最初的开环调整。

`userparms.h`

```
57  /* open loop continuous functioning */
58  /* closed loop transition disabled */
59  #define OPEN_LOOP_FUNCTIONING
```

b) 设置开环参数

- 电流缩放

需要设置预缩放常数，以将 ADC 输出调整至对应于带符号（方向）的实际值，并且必要时将其预缩放为足够进一步处理的中间值。

`userparms.h`

```
122 #define KCURRA Q15(-0.5) /* scaling factor for current phase A */
123 #define KCURRB Q15(-0.5) /* scaling factor for current phase B */
```

电流的缩放因子为负，因为电流检测电阻上的采集操作获得的是反向电流，因此值 `Q15(-0.5)` 表示 ADC 返回的 `Q15` 值乘以 `(-1)`。

- 启动转矩电流

选择给定电机的标称电流作为起点，如下所示（本例中，使用 `1.41 A` 的电流值）：

`userparms.h`

```
197 /* open loop q current setup - */
198 #define Q_CURRENT_REF_OPENLOOP_NORM_CURRENT(1.41)
199
```

如果启动电流过低，负载不会移动。如果启动电流过高，电机长时间运行在开环状态下可能会过热。

- 锁定时间

通常，选择几百毫秒的锁定时间值。

`userparms.h`

```
188 /* open loop startup constants */
189 /* the following values depends on the PWM frequency, */
190 /* lock time is the time needed for motor's poles alignment
191 /* before the open loop speed ramp up */
192 #define LOCK_TIME 4000 // This number is: 20,000 is 1 second.
```

锁定时间值取决于 PWM 频率。例如，频率为 `20 kHz` 时，值 `4000` 表示 `0.2` 秒。

- 斜线上升率

在开始时应将开环加速度设置得尽可能小。此值越小，电机越能以更高的阻转力矩或转动惯量启动。

`userparms.h`

```
195 /* open loop speed ramp up speed of increase */
196 #define OPENLOOP_RAMPSPEED_INCREASERATE 10
197
```

- 最终转速

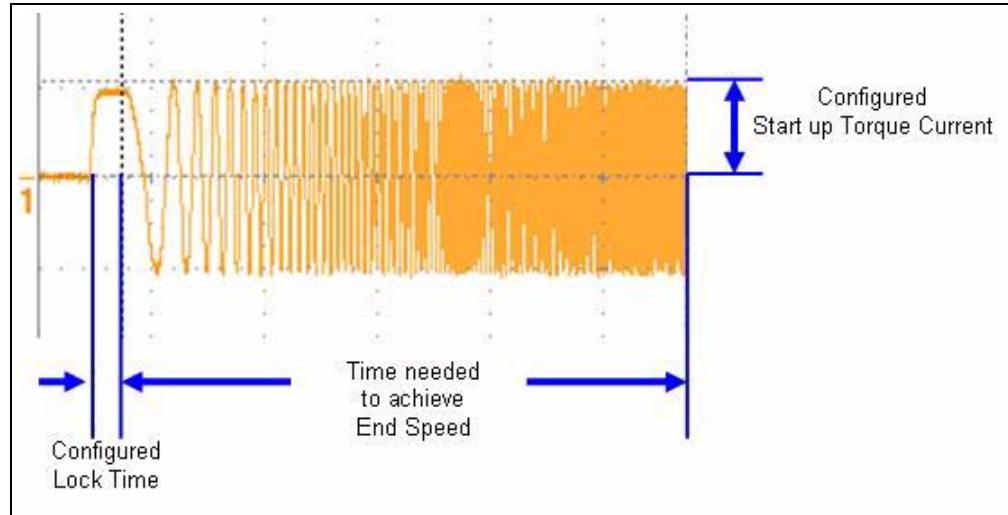
设置最终转速值时需要在控制效率和估算器的最小速度限制（用于精确估算速度和位置）之间进行权衡。通常，用户希望将开环最终转速值设置得尽可能小，以便启动之后尽快过渡到闭环。记住上面所述的折衷原则，考虑一开始将最终转速设置为要进行调整的电机的标称速度的三分之一。

userparms.h

```
193 /* open loop speed ramp up end value */  
194 #define END_SPEED_RPM 1000 // Value in RPM
```

图 1-3 展示了先前选择的参数。该图表示将示波器电流探头连接到一个电机相时的截图。

图 1-3:



- **PI 电流控制器**

用于有效调整此应用的 PI 控制器的一些常规准则包括：

- D 轴和 Q 轴上的两个控制器对于相应的比例（D_CURRCNTR_PTERM 和 Q_CURRCNTR_PTERM）、积分（D_CURRCNTR_ITERM 和 Q_CURRCNTR_ITERM）、抗积分饱和（D_CURRCNTR_CTERM 和 Q_CURRCNTR_CTERM）以及最小值 - 最大值（D_CURRCNTR_OUTMAX、Q_CURRCNTR_OUTMAX、D_CURRCNTR_OUTMIN 和 Q_CURRCNTR_OUTMIN）等参数具有相同的值。
- 通常，只要出现电流振荡，降低比例增益项就可确保积分增益与比例增益相比小 5 到 10 倍。

使用下面显示的值作为起点。

```
userparms.h
204  /* PI controllers tuning values - */
205  //***** D Control Loop Coefficients *****
206  #define D_CURRCNTR_PTERM      Q15(0.05)
207  #define D_CURRCNTR_ITERM      Q15(0.005)
208  #define D_CURRCNTR_CTERM      Q15(0.999)
209  #define D_CURRCNTR_OUTMAX    0x7FFF

211 //***** Q Control Loop Coefficients *****
212 #define Q_CURRCNTR_PTERM      Q15(0.05)
213 #define Q_CURRCNTR_ITERM      Q15(0.005)
214 #define Q_CURRCNTR_CTERM      Q15(0.999)
215 #define Q_CURRCNTR_OUTMAX    0x7FFF
```

c) **开环参数优化**

上面的设置将使开环运行。如果已验证使用上面介绍的设置时一切工作正常，可尝试通过以下方式微调参数，使运行更加平稳高效：

- 减小启动转矩电流
- 增大加速斜率
- 缩短锁定时间
- 减小最终转速

第4步——调整闭环运行

a) 启用闭环过渡

开环运行正常后，通过移除 OPEN_LOOP_FUNCTIONING 宏定义转到闭环调整。

```
userparms.h
56
57  /* open loop continuous functioning */
58  /* closed loop transition disabled */
59  #undef OPEN_LOOP_FUNCTIONING
60
```

b) 设置闭环参数

- 初始角度偏移调整

开环到闭环之间的过渡意味着存在初始估算误差，需要针对此误差预先选择一个初始偏移角度：

```
userparms.h
183 #define INITOFFSET_TRANS_OPEN_CLSD 0x2000
```

初始值 0x2000 对应于 45 度的偏移角。用于获取对应于特定偏移角的值的公式为：

$$value = 0xFFFF \cdot \frac{angle}{360}^{\circ}$$

根据负载的阻转力矩、转动惯量，或根据电机的电气常数，修改角度以消除最终的开环 / 闭环过渡问题。

- 估算器滤波系数

为滤波系数设置的默认常数对于大多数电机来说都应获得良好的结果。但是，减小系数将减小相位延迟，相位延迟在电枢电流变化较快的高速情况下特别有用。应在滤波作用与其副效应（引入相移）之间取得平衡。

```
userparms.h
167 // Filters constants definitions
168 /* BEMF filter for d-q components @ low speeds */
169 #define KFILTER_ESDQ 1200
170 /* BEMF filter for d-q components @ high speed - Flux Weakening case */
171 #define KFILTER_ESDQ_FW 164
172 /* estimated speed filter constatn */
173 #define KFILTER_VELESTIM 2*374
```

- PI 速度控制器

对于速度控制器调整，可以使用多种方法对 P 和 I 增益进行调整。有关详细信息，请在维基百科网站上搜索“PID Controller”，然后转到“Loop Tuning”部分。

```
userparms.h
217 //*** Velocity Control Loop Coefficients ****
218 #define SPEEDCNTR_PTERM Q15(0.5)
219 #define SPEEDCNTR_ITERM Q15(0.005)
220 #define SPEEDCNTR_CTERM Q15(0.005)
221 #define SPEEDCNTR_OUTMAX 0x5000
```

如果不需要速度控制器，可以通过定义 TORQUE_MODE 来激活转矩模式。

```
userparms.h
62 /* definition for torque mode - for a separate tuning of the current PI
63 controllers, tuning mode will disable the speed PI controller */
64 #define TORQUE_MODE
```

第 5 步 —— 调整高速弱磁参数（可选）

警告

通常，电机制造商通常会指示电机在不受损的情况下可达到的最大速度（可能比额定电流下的制动点速度大）。如果未指示，则能以更高的速度运行，但只能持续短暂时间（间歇），以避免电机或连接到电机的设备发生消磁或机械损坏的风险。

在弱磁模式下，如果由于在高于标称值的高速下角度计算出错而导致控制器故障，则逆变器可能很快就会损坏。原因是反电动势（**Back Electromotive Force, BEMF**）的值将高于在标称速度下获得的值，因而会超出逆变器的功率半导体器件和直流链路电容所必须支持的直流总线电压值。由于建议的调整意味着在达到最佳运行状态前进行迭代系数校正，应将具有相应电路的逆变器的保护修改为在高速停转时能应对更高的电压。

a) 设置初始参数

- 标称速度和最大速度

以标称速度值的 RPM 开始（即，比电机额定速度小几百 RPM）。在本例中，电机额定速度为 3000 RPM；因此，我们将 NOMINAL_SPEED_RPM 设置为 2800。请查询电机规范以了解最大弱磁速度，并将该值输入到 MAXIMUM_SPEED_RPM 中。

userparms.h

```
133  /* Nominal speed of the motor in RPM */
134  #define NOMINAL_SPEED_RPM    2800 // Value in RPM
135  /* Maximum speed of the motor in RPM - given by the motor's manufacturer */
136  #define MAXIMUM_SPEED_RPM     5500 // Value in RPM
```

请注意，对于这些大于（超过）标称速度的值将启用弱磁策略，因此，降低用于平滑此过渡的标称速度意味着在降低气隙磁通时会消耗其它能量，这会导致总体效率降低。

- *D* 轴基准电流

D 轴基准电流查找表 (ID) 中的值在 0 到标称定子电流值之间，并均匀分布在查找表的 18 个条目中。标称定子电流可从电机规范中获取。如果该值未知，可通过用额定功率除以额定电压近似得出。

userparms.h

```
254     /* the following values indicate the d-current variation with speed */
255     /* please consult app note for details on tuning */
256     #define IDREF_SPEED0      NORM_CURRENT(0)          // up to 2800 RPM
257     #define IDREF_SPEED1      NORM_CURRENT(-0.24)        // ~2950 RPM
258     #define IDREF_SPEED2      NORM_CURRENT(-0.56)        // ~3110 RPM
259     #define IDREF_SPEED3      NORM_CURRENT(-0.828)       // ~3270 RPM
260     #define IDREF_SPEED4      NORM_CURRENT(-1.121)       // ~3430 RPM
261     #define IDREF_SPEED5      NORM_CURRENT(-1.385)       // ~3600 RPM
262     #define IDREF_SPEED6      NORM_CURRENT(-1.6)         // ~3750 RPM
263     #define IDREF_SPEED7      NORM_CURRENT(-1.8)         // ~3910 RPM
264     #define IDREF_SPEED8      NORM_CURRENT(-1.923)       // ~4070 RPM
265     #define IDREF_SPEED9      NORM_CURRENT(-2.055)       // ~4230 RPM
266     #define IDREF_SPEED10     NORM_CURRENT(-2.15)        // ~4380 RPM
267     #define IDREF_SPEED11     NORM_CURRENT(-2.2)         // ~4550 RPM
268     #define IDREF_SPEED12     NORM_CURRENT(-2.25)        // ~4700 RPM
269     #define IDREF_SPEED13     NORM_CURRENT(-2.3)         // ~4860 RPM
270     #define IDREF_SPEED14     NORM_CURRENT(-2.35)        // ~5020 RPM
271     #define IDREF_SPEED15     NORM_CURRENT(-2.4)         // ~5180 RPM
272     #define IDREF_SPEED16     NORM_CURRENT(-2.423)       // ~5340 RPM
273     #define IDREF_SPEED17     NORM_CURRENT(-2.442)       // ~5500 RPM
274
```

- 电压常数倒数

在查找表中，与弱磁模式下可达到的最大速度所对应的条目与机械速度从标称值到最大值的增长百分比成正比。在查找表条目中，各个值均匀分布，如果对应于最大速度的电压常数倒数超出数值表示范围 (32,767)，则调整相应的预除法缩放因子。请注意，以下数字预先除以 2 (见图 1-1)。

userparms.h

```
276     /* the following values indicate the invKfi variation with speed */
277     /* please consult app note for details on tuning */
278     #define INVKFI_SPEED0    7956    // up to 2800 RPM
279     #define INVKFI_SPEED1    9300    // ~2950 RPM
280     #define INVKFI_SPEED2    10820   // ~3110 RPM
281     #define INVKFI_SPEED3    11900   // ~3270 RPM
282     #define INVKFI_SPEED4    13110   // ~3430 RPM
283     #define INVKFI_SPEED5    14000   // ~3600 RPM
284     #define INVKFI_SPEED6    14800   // ~3750 RPM
285     #define INVKFI_SPEED7    15350   // ~3910 RPM
286     #define INVKFI_SPEED8    15720   // ~4070 RPM
287     #define INVKFI_SPEED9    16120   // ~4230 RPM
288     #define INVKFI_SPEED10   16520   // ~4380 RPM
289     #define INVKFI_SPEED11   16740   // ~4550 RPM
290     #define INVKFI_SPEED12   16920   // ~4700 RPM
291     #define INVKFI_SPEED13   17140   // ~4860 RPM
292     #define INVKFI_SPEED14   17430   // ~5020 RPM
293     #define INVKFI_SPEED15   17650   // ~5180 RPM
294     #define INVKFI_SPEED16   17840   // ~5340 RPM
295     #define INVKFI_SPEED17   17950   // ~5500 RPM
```

- 电感变化

对于电感变化 (LsOver2Ls0) 查找表, 表中的第一个值应始终为 1/2, 因为基本速度电感会除以其自身二倍的值。这些值应适用于大多数电机。

userparms.h

```

297  /* the following values indicate the Ls variation with speed */
298  /* please consult app note for details on tuning */
299  #define LS_OVER2Ls0_SPEED0          Q15(0.5)    // up to 2800 RPM
300  #define LS_OVER2Ls0_SPEED1          Q15(0.45)   // ~2950 RPM
301  #define LS_OVER2Ls0_SPEED2          Q15(0.4)    // ~3110 RPM
302  #define LS_OVER2Ls0_SPEED3          Q15(0.35)   // ~3270 RPM
303  #define LS_OVER2Ls0_SPEED4          Q15(0.3)    // ~3430 RPM
304  #define LS_OVER2Ls0_SPEED5          Q15(0.25)   // ~3600 RPM
305  #define LS_OVER2Ls0_SPEED6          Q15(0.25)   // ~3750 RPM
306  #define LS_OVER2Ls0_SPEED7          Q15(0.25)   // ~3910 RPM
307  #define LS_OVER2Ls0_SPEED8          Q15(0.25)   // ~4070 RPM
308  #define LS_OVER2Ls0_SPEED9          Q15(0.25)   // ~4230 RPM
309  #define LS_OVER2Ls0_SPEED10         Q15(0.25)   // ~4380 RPM
310  #define LS_OVER2Ls0_SPEED11         Q15(0.25)   // ~4550 RPM
311  #define LS_OVER2Ls0_SPEED12         Q15(0.25)   // ~4700 RPM
312  #define LS_OVER2Ls0_SPEED13         Q15(0.25)   // ~4860 RPM
313  #define LS_OVER2Ls0_SPEED14         Q15(0.25)   // ~5020 RPM
314  #define LS_OVER2Ls0_SPEED15         Q15(0.25)   // ~5180 RPM
315  #define LS_OVER2Ls0_SPEED16         Q15(0.25)   // ~5340 RPM
316  #define LS_OVER2Ls0_SPEED17         Q15(0.25)   // ~5500 RPM

```

b) 运行时参数调整

如果在上述条件下运行软件的结果是电机以大于标称值的速度停转, 则原因是查找表中填入的估算值在某一时刻与实际的非线性值不匹配。

电机一旦停转, 将立即使程序停止执行, 以捕获调试器观察窗口中索引 (FdWeakParm.qIndex) 的值。该索引以升序方式指示 IDREF 的值 (见第 5a 步中的 IDREF 表) 未起作用且应更新的时刻。为了进一步提高性能, 应将查找表中当前索引指示的值替换为下一索引 (FdWeakParm.qIndex + 1) 指示的值, 并应再次检查电机的行为。达到的速度应增加, 如果多次重复此过程, 将达到 d 轴上施加的标称基准电流对应的最大速度。

如果在标称电流下获得的最大速度小于目标值, 则应将 d 轴基准电流的绝对值增加到大于标称值。例如, 如果无法达到 5500 RPM, 则将 IDREF_SPEED17 电流从 -1.53 更改为 -1.60, 然后再试一次。应该从电机停转处的索引所指示的值开始增加 d 轴基准电流。索引值应该对应于在电机轴上使用转速计测量的电机实际速度, 请记住, 应使用基准速度而不是实际速度来计算查找表索引。

一旦增大 d 轴电流的操作不再使速度增加 (电流增加过多通常将使电机停转), 与停转对应的索引将指示应如何调整 (增大或减小) 电感值。电感变化查找表是要更新的最后一项。

使用软件速度基准始终要比标准电位计 /DMCI 滑动条控件更为准确，因为它更稳定并且可以提供更理想的粒度。

为了进行测试，我们实现了一个较慢的软件斜坡作为速度基准，并使用以下定义将其激活：

```
userparms.h  
107 #define TUNING_DELAY_RAMPUP 0x3F      /* the smaller the value, the smaller the
```

斜坡延迟的值越小，斜坡增加得越缓慢。此斜坡始终从开环零速度开始，在开环下达到 END_SPEED_RPM 值，然后转到闭环，并在闭环下继续加速到 MAXIMUM_SPEED_RPM。软件速度基准对于此算法的弱磁区域特别重要，因为它用于确定查找表中的索引。

请注意以下有关 **Microchip** 器件代码保护功能的要点：

- **Microchip** 的产品均达到 **Microchip** 数据手册中所述的技术指标。
- **Microchip** 确信：在正常使用的情况下，**Microchip** 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 **Microchip** 数据手册中规定的操作规范来使用 **Microchip** 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- **Microchip** 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- **Microchip** 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。**Microchip** 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 **Microchip** 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 **Microchip** 产品性能和使用情况的有用信息。**Microchip Technology Inc.** 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 **Microchip Technology Inc.** 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。**Microchip** 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。**Microchip** 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 **Microchip** 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 **Microchip** 免于承担法律责任，并加以赔偿。在 **Microchip** 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、**Microchip** 徽标、**dsPIC**、**KEELOQ**、**KEELOQ** 徽标、**MPLAB**、**PIC**、**PICmicro**、**PICSTART**、**PIC³²** 徽标、**rfPIC** 和 **UNI/O** 均为 **Microchip Technology Inc.** 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、**Hampshire**、**HI-TECH C**、**Linear Active Thermistor**、**MXDEV**、**MXLAB**、**SEEVAL** 和 **The Embedded Control Solutions Company** 均为 **Microchip Technology Inc.** 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、**Application Maestro**、**CodeGuard**、**dsPICDEM**、**dsPICDEM.net**、**dsPICworks**、**dsSPEAK**、**ECAN**、**ECONOMONITOR**、**FanSense**、**HI-TIDE**、**In-Circuit Serial Programming**、**ICSP**、**Mindi**、**MiWi**、**MPASM**、**MPLAB Certified** 徽标、**MPLIB**、**MPLINK**、**mTouch**、**Omniscient Code Generation**、**PICC**、**PICC-18**、**PICDEM**、**PICDEM.net**、**PICkit**、**PICtail**、**REAL ICE**、**rfLAB**、**Select Mode**、**Total Endurance**、**TSHARC**、**UniWinDriver**、**WiperLock** 和 **ZENA** 均为 **Microchip Technology Inc.** 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 **Microchip Technology Inc.** 在美国的服务标记。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2010, **Microchip Technology Inc.** 版权所有。

ISBN: 978-1-60932-746-0

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
—ISO/TS 16949:2002—

Microchip 位于美国亚利桑那州 **Chandler** 和 **Tempe** 与位于俄勒冈州 **Gresham** 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 **ISO/TS-16949:2002** 认证。公司在 **PIC[®]** **MCU** 与 **dsPIC[®]** **DSC**、**KEELOQ[®]** 跳码器件、串行 **EEPROM**、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品方面的质量体系流程均符合 **ISO/TS-16949:2002**。此外，**Microchip** 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 **ISO 9001:2000** 认证。



MICROCHIP

全球销售及服务网点

美洲

公司总部 Corporate Office

2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持：
<http://support.microchip.com>
网址：www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta

Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

波士顿 Boston

Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago

Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

克里夫兰 Cleveland

Independence, OH
Tel: 1-216-447-0464
Fax: 1-216-447-0643

达拉斯 Dallas

Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit

Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

科科莫 Kokomo

Kokomo, IN
Tel: 1-765-864-8360
Fax: 1-765-864-8387

洛杉矶 Los Angeles

Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608

圣克拉拉 Santa Clara

Santa Clara, CA
Tel: 1-408-961-6444
Fax: 1-408-961-6445

加拿大多伦多 Toronto

Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 Asia Pacific Office

Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong

Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8528-2100
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7256
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830
Fax: 886-7-330-9305

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

亚太地区

台湾地区 - 新竹

Tel: 886-3-6578-300
Fax: 886-3-6578-370

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471-6166
Fax: 81-45-471-6122

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 Austria - Wels

Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark-Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

意大利 Italy - Milan

Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820