

Application Note

针对 MCx83xx 的电机预启动调优



Amrit Das, Raghav Bansal

摘要

当 MCx83xx 接收到电机运行（非零基准）命令时，BLDC 电机可以是静止或自转状态。根据初始电机状态（静止或自转），可以提供不同的可配置选项来驱动 BLDC 电机让用户设置基准 - MCx83xx 可以执行制动以使电机在驱动至设定基准之前进入静止状态；或者，MCx83xx 还可以实时以正向方向与电机速度和方向重新同步。本应用说明讨论了可用于配置 MCx83xx 预启动行为以实现所设计启动性能的设置。

该内容适用于 MCx83xx 系列：

- MCF8315A
- MCF8315C
- MCF8315C-Q1
- MCF8316A
- MCF8316C
- MCF8316C-Q1
- MCF8315D
- MCF8316D
- MCF8329A
- MCT8316A
- MCT8315A
- MCT8329A

备注

- MCF83xx 是指 TI 基于无传感器 FOC 的三相 BLDC 驱动器，包括 MCF8316D、MCF8315D、MCF8316C-Q1、MCF8315C-Q1、MCF8315C、MCF8315A、MCF8316A 和 MCF8329A。
- MCT83xx 是指 TI 基于无传感器梯形换向的三相 BLDC 驱动器，包括 MCT8316A、MCT8316A-Q1、MCT8315A 和 MCT8329A。
- MCF83xx 和 MCT83xx 系列器件在本应用说明中称为 MCx 器件。

内容

1 简介.....	2
2 最终应用配置建议.....	5
2.1 重新同步.....	5
2.2 反向驱动.....	5
2.3 滑行（高阻态）.....	5
2.4 启动制动.....	6
2.5 方向改变模式.....	6
3 调优指导.....	7
3.1 初始速度检测模块.....	7
3.2 重新同步.....	10
3.3 滑行（高阻态）.....	13
3.4 制动.....	13
4 MCx 器件的功能可用性.....	16

4.1 FOC 系列 (MCF83xx 器件)	16
4.2 TRAP 系列 (MCT83xx 器件)	16
5 总结	20
6 参考资料	20

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

预启动是电机运行阶段，在该阶段通过检测收到电机运行命令时的三相电压，来确定初始转速、位置和方向。

初始速度检测 (ISD) 模块用于标识电机的初始状态，可以通过将 ISD_EN 设置为 1b 来启用。如果电机处于滑行状态并且有足够的反电动势可供感测，则可以重新同步并驱动电机以直接设置基准。

可以通过将 ISD_EN 设置为 0b 来禁用 ISD。如果禁用了 ISD，则无论电机初始状态如何，MCx83xx 都不会执行初始速度检测，而如果在启动之前将其启用，则继续执行制动例程。

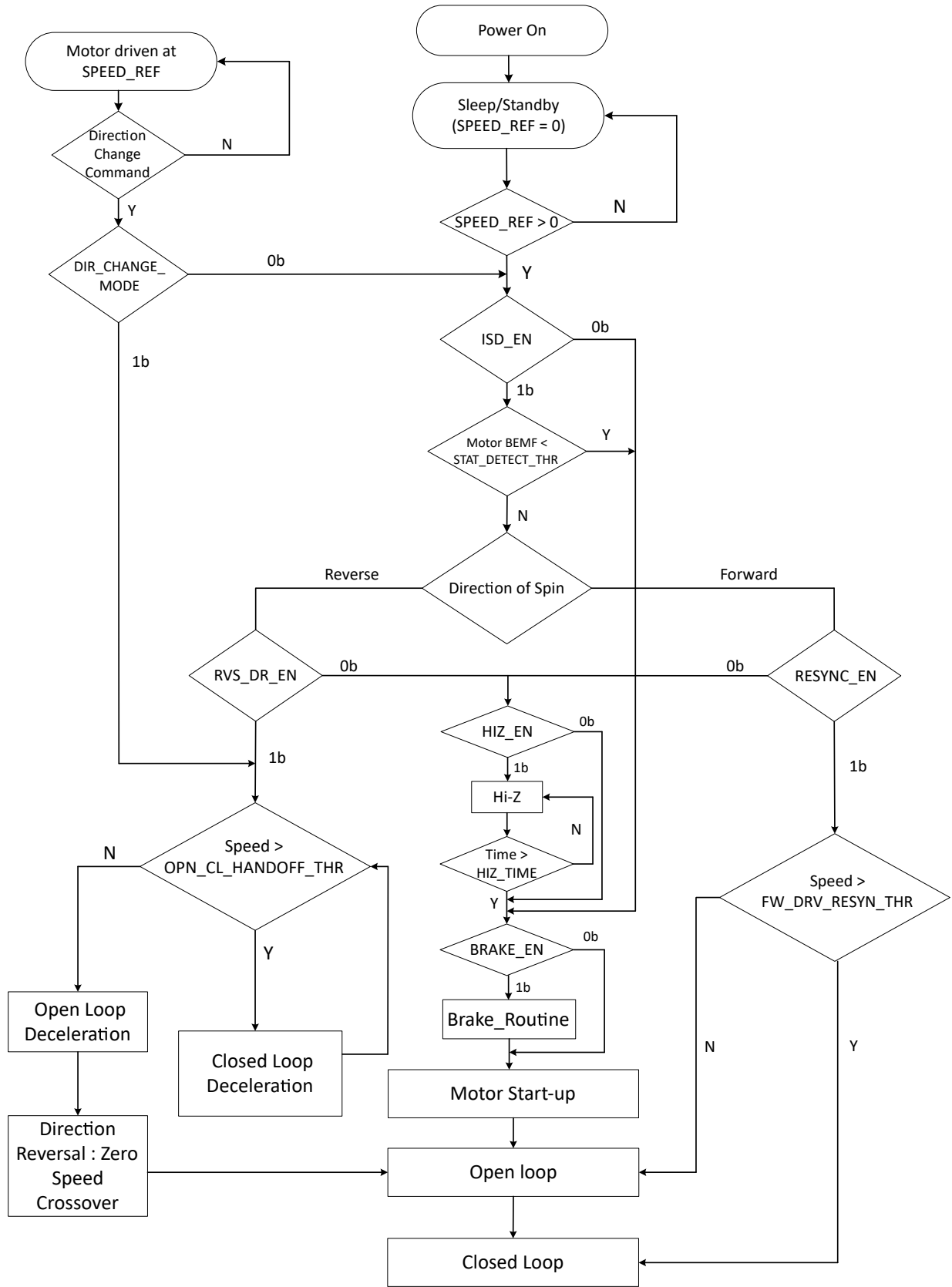


图 1-1. MCF83xx 预启动流程图

备注

MCT83xx 中的预启动例程存在细微差异，但本应用手册的大部分内容也适用于 MCT83xx 器件。

MCT83xx 预启动流程中的显著差异包括 (但不限于)：

- **DIR_CHANGE_MODE 缺失**：如果设置了 RVS_DR_EN，状态机将尝试通过减速至零速来反转旋转方向，然后再在相反方向加速。否则，电机将滑行并执行制动 (如果已启用)，以使电机停止，然后再反向加速。
- **存在单独的启动制动器**：即使检测到电机静止，电机仍可能非常缓慢地旋转或振荡。可执行启动制动以使电机停止。这可以配置为与常规制动不同的制动时间。一般来说，启动制动时间远小于常规制动时间。
- 由于存在浮动相位，MCT83xx 器件中可以感测 BEMF，因此重新同步的阈值基于 BEMF 电压幅度，这与 MCF83xx 器件不同，后者的阈值配置为 MAX_SPEED 的百分比。

2 最终应用配置建议

不同的最终应用在预启动阶段有一系列不同的要求，这些要求取决于电机惯性、风等外部因素。了解预启动特性的功能和针对给定最终应用进行适当配置非常重要。表 2-1 总结了常见最终应用的预启动配置建议。

表 2-1. 最终应用预启动建议

应用	重新同步	反向驱动	高阻态	启动制动	方向改变模式	说明
吊扇	是	否	是	是	0b	高惯性
落地扇	是	是	否	是	0b	高惯性
服务器/座椅冷却风扇	是	否	是	是	0b	中等惯性
泵/燃油泵	否	否	否	是	0b	低惯性
真空吸尘器	是	是	否	是	1b	高惯性
CPAP	是	是	否	是	1b	高惯性
空气净化器	是	否	否	是	0b	中到高惯性
按摩器	否	否	否	是	1b	低惯性
刷杆	否	否	否	是	0b	齿轮传动系统
洗衣机/烘干机泵	否	否	否	是	0b	低至中等惯性

2.1 重新同步

重新同步是一项功能，使器件能够即时检测自转电机，并在电机沿命令方向旋转时将电机斜升至命令的速度。

如果速度大于 FWD_DRV_RESYN_THR，从而产生足够的 BEMF，则驱动直接切换至闭环驱动，否则电机在切换至闭环之前使用开环斜升。

推荐使用的情况：

- 当电机具有高惯性时，重新同步非常有用。高惯性电机需要很长时间才能启动和停止。如果电机在运行命令之前已在命令方向上旋转，则重新同步可以使用电机启动方法节省制动、停止和重新启动的时间。
 - 示例：吊扇，因为其具有高惯性。
- 如果存在使电机沿指令方向旋转的外部因素（如风），建议启用重新同步，以实现更快、更平稳的启动。
 - 示例：落地扇可能会因为风而导致旋转。
- 中到高惯性电机运行期间重复的启停例程。
 - 示例：CPAP（持续风道正压）电机。

2.2 反向驱动

当检测到电机反向旋转时，反向驱动功能使用户能够以受控方式反转电机方向。

推荐使用的情况：

- 若存在风等外部因素导致电机反向旋转，建议启用反向驱动功能，以便更快速、平稳地实现方向反转，并顺利过渡到指令方向。
 - 示例：落地扇可能会因为风而导致旋转。
- 需要电机双向旋转的应用。
 - 示例：真空吸尘器吸尘和吹尘。

2.3 滑行（高阻态）

如果电机在启动时以任一方向旋转，并且重新同步或反向驱动被禁用，则器件会尝试在从静止启动之前制动（建议在所有最终应用中根据表 1 启用）。如果在制动时电机转速过高，则可以观察到高制动电流。为了防止制动电流超出 ILIMIT，在禁用重新同步或反向驱动时的高惯性电机中，应启用滑行，以便在执行制动之前自然减慢电机速度。如需了解明确信息，可参阅图 1-1。

推荐使用的情况：

- 禁用重新同步或反向驱动的高惯性电机。

- 示例：由于这些最终应用中反向旋转的可能性很小，以及调整反向驱动所需的工作量，因此不建议对吊扇或服务器风扇启用反向驱动功能。

2.4 启动制动

即使检测到电机静止，电机也可能非常缓慢旋转或振荡，从而降低 IPD 等启动方法的可靠性。提供启动制动是为了确保电机在开始启动算法之前处于静止状态。

推荐使用的情况：

- 建议为所有最终应用启用。

2.5 方向改变模式

根据 DIR_CHANGE_MODE 配置，决定是通过完整预启动状态机还是通过反向驱动执行方向改变。

推荐使用的情况：

- 在运行期间预期方向会发生改变的最终应用中，DIR_CHANGE_MODE 设置为 1b。这要求在使用反向驱动改变方向时调优反向驱动参数。
 - 示例：在方向经常改变的按摩椅电机中，DIR_CHANGE_MODE 为 1b。
- 在反向驱动不常见并且可以在反向启动之前通过滑行和执行制动来停止电机的最终应用中，请将方向改变模式设置为 0b，并通过将 RVS_DR_EN 设置为 0b 来禁用反向驱动。这减少了反向驱动的调优工作量。
 - 示例：服务器风扇具有固定的旋转方向。
- 当 RVS_DR_EN 设置为 1b 并调优了反向驱动时，DIR_CHANGE_MODE 可以设置为 0b，因为会根据方向变化命令执行反向驱动。

3 调优指导

上一部分中介绍的每个模块都具有调优参数，需要根据电机参数和应用要求配置这些参数。本部分将介绍可用配置以及如何对其进行调优。此外，本部分还提供了一些示例，说明如何从因不当调优而可能发生的故障中进行恢复。

3.1 初始速度检测模块

当预启动开始时，在启用 ISD 的情况下，需要感测感应的反电动势 (BEMF) 以提取方向和速度信息。以下配置会影响 ISD 模块的稳健性。

表 3-1. ISD 调优参数

调优参数	子特性说明	调优注意事项
ISD_EN	启用初始电机转速和方向检测	如果频繁的启停请求部分操作，并且在启动时电机可能会自转，则启用。为风扇等高惯性应用启用
FAST_ISD_EN	在 ISD 期间实现快速速度检测。	需要小于 100ms 的较短启动时间时启用。 由于 BEMF 样本低于正常 ISD，因此偶尔会观测到一些角度不准确，从而导致初始电流尖峰或反向旋转。
ISD_STOP_TIME	声明电机已停止的持续时间。	以低持续时间设置启动。
ISD_RUN_TIME	声明电机正在运行的持续时间	感测到的电机 BEMF 中的噪声会导致错误的电机状态检测。增大可提高可靠性。 对低惯性电机减小，以便在 BEMF 信号衰减之前实现更快的速度和方向检测。 如果电机检测到静止，即使在以足够的速度发出运行命令后也会减小这些设置。
ISD_TIMEOUT	ISD 无法可靠检测速度或方向时超时	在应用允许的情况下，保持高超时时间以便有足够的时间检测电机转速。 如果设置过低，ISD 有时无法检测速度和方向，尤其是在 ISD_RUN_TIME 设置较高的情况下，会导致停止和启动，而不是与驱动器重新同步。
ISD_BEMF_FILTER_ENABLE	在 ISD 期间启用 BEMF 滤波器	保持 BEMF 滤波启用，以实现可靠的速度和方向检测，尤其是对于具有非正弦 BEMF 的电机。
STAT_DETECT_THR	设置 BEMF 阈值，低于该阈值则会检测到电机静止。	以一定的裕度设置 STAT_DETECT_THR，以便留出一些时间用于 ISD 执行和持续时间。 注意：生成的 BEMF = 电机的 BEMF 常数 * 电机转速。通过将 STAT_DETECT_THR 除以 BEMF 常数可计算出速度，当电机低于该速度时，则将电机检测为静止。 如果设置得过低，则电机 BEMF 在 ISD 完成后可能不可靠，从而导致启动失败。 如果设置得过高，则可能将以足够 BEMF 滑行的电机检测为静止。
DIR_CHANGE_MODE	决定接收到方向改变命令时的流程。决定在连续驱动时是执行 ISD 例程还是使用反向驱动来改变电机方向。	如果方向改变是以受控方式使电机减速并改变方向的应用用例的一部分，则设置为 1b。否则，建议在改变驱动方向之前滑行和制动以停止电机。

3.1.1 初始速度检测

初始速度检测 (ISD_EN) 决定是否需要速度检测以在电机正在旋转时重新同步，或在电机不考虑速度的情况下停止电机，并从静止状态重新启动。在高惯性应用中，ISD 通过显著减少启动时间来帮助优化启动。

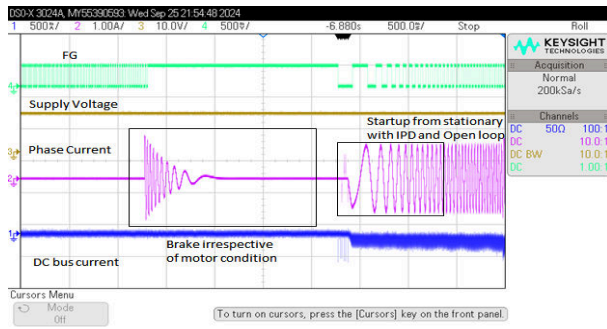


图 3-1. ISD_EN = 0b

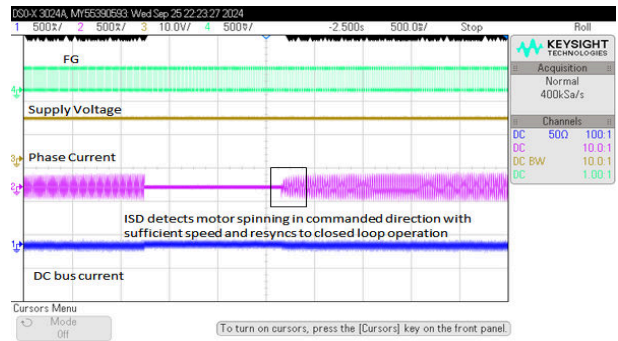


图 3-2. ISD_EN = 1b

在图 3-1 中，由于禁用了 ISD，即使有足够的 BEMF 可用于直接传递到闭环，电机也会被强制制动并从静止启动。在图 3-2 中，电机与驱动器重新同步，并由于启用了 ISD 而斜升至命令的速度。

3.1.2 ISD 时间

提供的 ISD_STOP_TIME 和 ISD_RUN_TIME 是持续时间，在该时间通过滤除噪声来提高电机状态检测的稳健性。

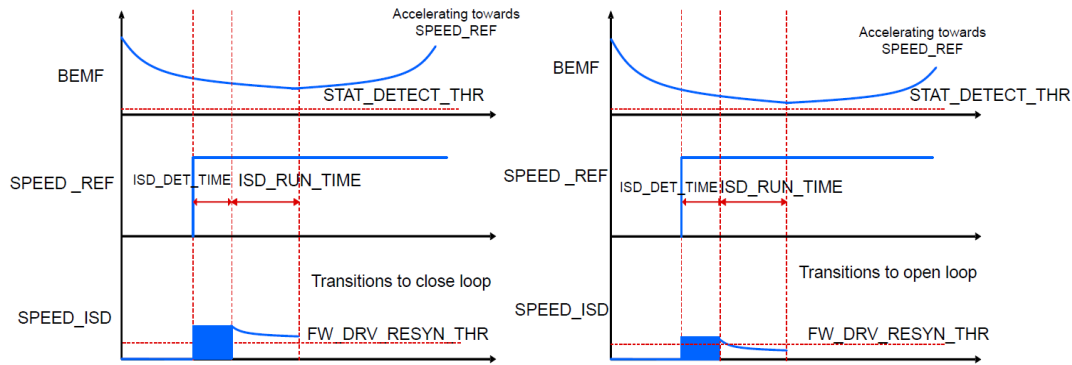


图 3-3. ISD_RUN_TIME 影响：在 ISD_RUN_TIME 之后，重新同步速度 > FW_DRV_RESYN_THR 时的速度

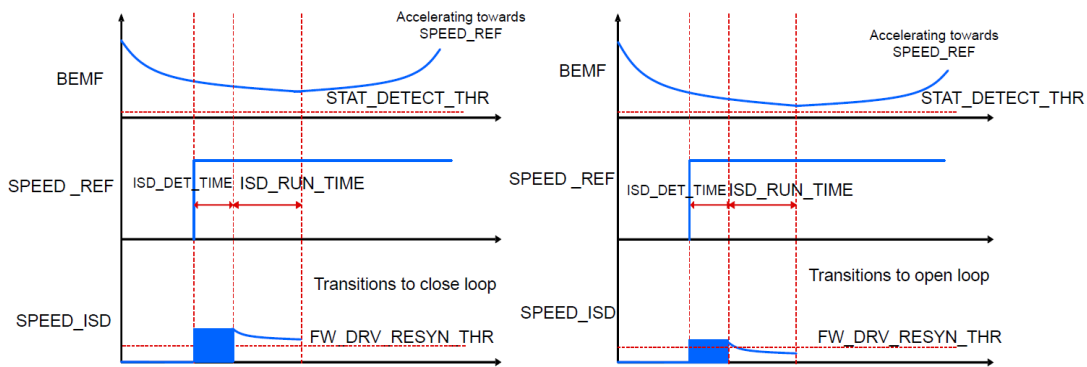


图 3-4. ISD_RUN_TIME 影响：在 ISD_RUN_TIME 之后重新同步速度 < FW_DRV_RESYN_THR 时的速度

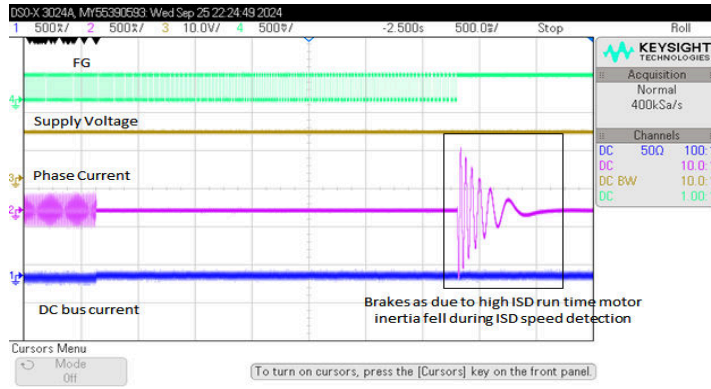


图 3-5. 100ms 的 ISD_RUN_TIME 会导致 BEMF 降至 STAT_DETECT_THR 以下，并会导致制动，而不是重新同步

在图 3-5 中，长 ISD 运行时间会增加 ISD 检测时间，从而导致电机速度下降，尤其是在低惯性电机中。即使在发出 RUN 命令时有足够的速度，这也会导致电机制动和重新启动。

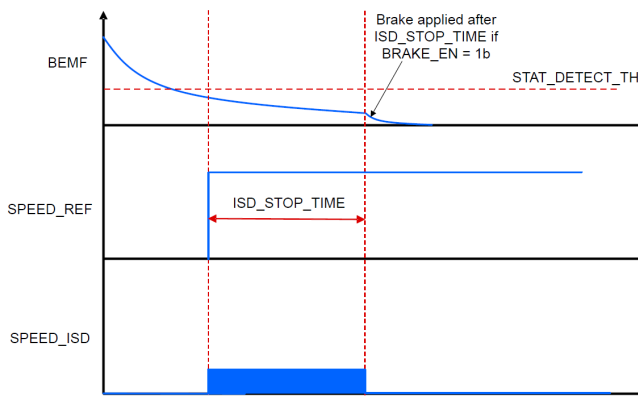


图 3-6. ISD_STOP_TIME 影响：当速度低于 STAT_DETECT_THR 并持续 ISD_STOP_TIME 时，执行制动以停止电机

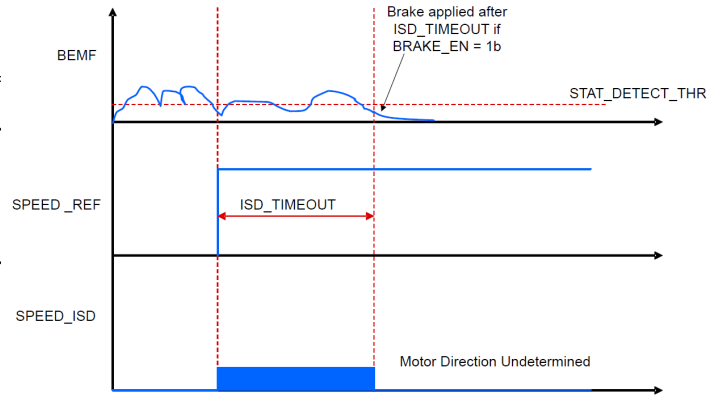


图 3-7. ISD_TIMEOUT：在 ISD_TIMEOUT 之前，在未可靠地检测到电机方向和速度时执行制动

3.1.3 静止检测阈值

图 3-8 和图 3-9 显示了静止检测阈值 (STAT_DETECT_THR) 的影响。

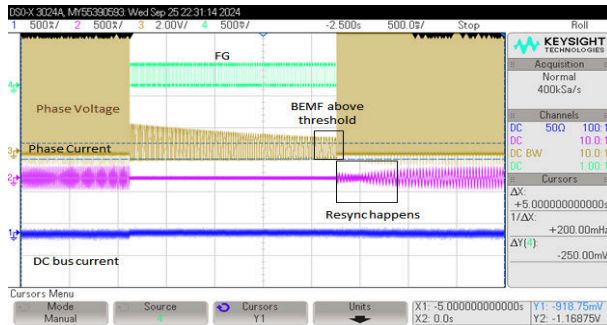


图 3-8. BEMF > STAT_DETECT_THR(1000mV) - 重新同步和启动

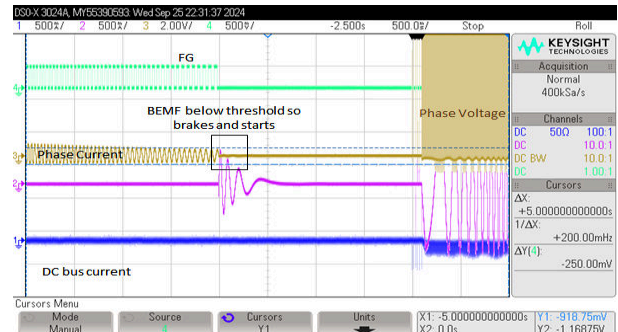


图 3-9. BEMF < STAT_DETECT_THR(1000mV) - 制动并从静止启动

3.2 重新同步

如果电机已经在命令的方向旋转，重新同步功能使我们能够将电机与驱动同步并斜升到命令的速度。表 3-2 介绍了可用的配置。

表 3-2. 重新同步相关配置

配置	子特性说明	调优注意事项
RESYNC_EN	如果电机以足够大的速度 (BEMF) 正向旋转 (与命令的方向相同)，则该功能使正在旋转的电机重新同步。	为使用高惯性电机 (如风扇) 的应用启用。
FWD_DRV_RESYN_THR	如果电机速度 > FWD_DRV_RESYN_THR，则器件可以直接与闭环重新同步，否则器件可以在闭环运行之前进行开环驱动。	FWD_DRV_RESYN_THR 需要与 OPN_CL_HANDOFF_THR 一致，因为此项预计是 BEMF 足以转换至闭环的最低速度。如果设置得过低，器件可能会出现可靠性问题，因为闭环可能会由于 BEMF 不可靠而失败。如果设置得过高，即使 BEMF 可靠并且可以实现闭环驱动，器件也会强制开环驱动。 注意： 生成的 BEMF = 电机的 BEMF 常数 * 电机转速。确保速度足以根据电机 BEMF 常数在 FWD_DRV_RESYN_THR 时生成几个 100mV。

3.2.1 正向驱动重新同步阈值

图 3-10 和图 3-11 显示了正向驱动重新同步阈值 (FWD_DRV_RESYN_THR) 的影响。

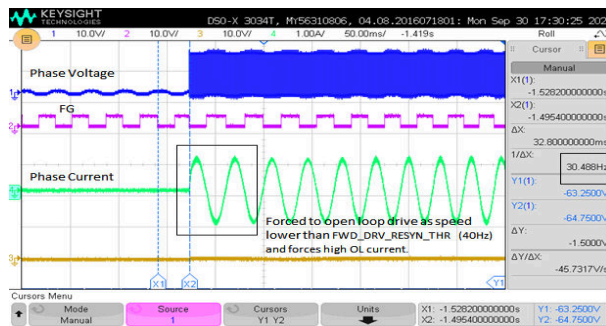


图 3-10. 感测到的速度低于 FWD_DRV_RESYN_THR，因此重新同步至开环，从而产生所示的固定强制电流

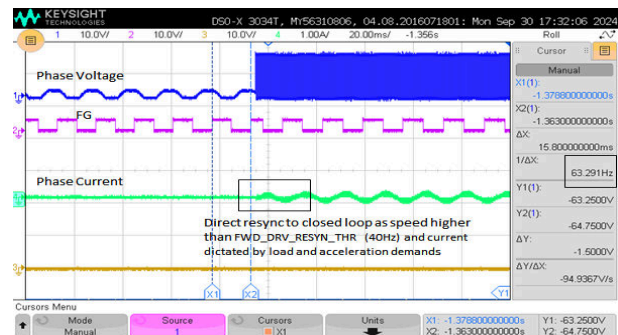


图 3-11. 感测到的速度大于 FWD_DRV_RESYN_THR，因此重新同步至闭环

3.2.2 反向驱动

如果电机已经在反向旋转，反向驱动功能使我们能够将电机与驱动同步，以受控方式降低电机速度并改变旋转方向。表 3-3 介绍了可用的配置。

表 3-3. 反向驱动相关配置

配置	子特性说明	调优注意事项
RVS_DR_EN	如果电机以足够大的速度 (BEMF) 反向旋转 (与命令的方向相反)，则该特性与正在旋转的电机重新同步，并将电机减速至零速，然后以命令的方向驱动电机。	为使用高惯性电机 (如风扇) 的应用启用。如果落地扇等风扇电机暴露在外因素 (如风) 中，请启用反向驱动以使电机平稳启动。
REV_DRV_CONFIG	决定采用特定于反向驱动的参数还是用于反向驱动的启动开环参数。决定的参数包括反向驱动中的开环切换阈值、开环加速率 (和减速率) 和开环电流限制。	如果从静止启动时使用的启动 OL 参数 (OL_ILIMIT、OL_ACC_A1、OL_ACC_A2 等) 不可靠，请尝试通过将 REV_DRV_CONFIG 设置为 1b 来调优独立参数 (如下所述)。

表 3-3. 反向驱动相关配置 (续)

配置	子特性说明	调优注意事项
REV_DRV_HANDOFF_THR	从反向闭环切换到反向开环的阈值。	REV_DRV_HANDOFF_THR 与 OPN_CL_HANDOFF_THR 保持一致。如果 REV_DRV_HANDOFF_THR 设置过低, 则电机可能会在减速时因 BEMF 不可靠而不再同步。如果设置太高, 则强制使用可靠的 BEMF 以开环旋转。如果 OL 电流限制不够, 电机可能会不再同步
REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A1 REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A2	反向驱动开环的加速率。减速率也可以该方式决定: REV_DRV_OPEN_LOOP_DEC 乘以 REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A1 / REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A2。	从 OL A1、A2 设置开始。减小 A1、A2 设置, 使减速和反向加速更柔缓。如果设置得过低, 有时在开环持续时间延长的情况下会观察到急冲。如果设置得过高, 当电流限制不足时, 电机可能会由于高加速度要求而失去同步。
REV_DRV_OPEN_LOOP_CURRENT	反向驱动开环电流限制。	从 OL 电流限制开始, 但如果存在影响反向旋转的风等一些外部因素, 请更改电流限制, 以便能够在不产生任何振动的情况下以受控方式使电机减速。如果设置得过高, 可能会导致低速时的急冲。如果设置得过低, 则可能会因加速需求高而在开环中失去同步。
REV_DRV_OPEN_LOOP_DEC	反向驱动开环中减速率和加速率之间的系数。	首先, 加速和减速参数相同, 即 100% 设置。根据减速和加速所需的时间, 调整 REV_DRV_OPEN_LOOP_DEC 以获得更对称的曲线。如果减速不可靠, 则减小。增大可缩短开环减速时间。

3.2.3 反向加速参数

这些参数可调优平滑、可靠的反向; 设置不当会导致反向期间电机失速或故障。

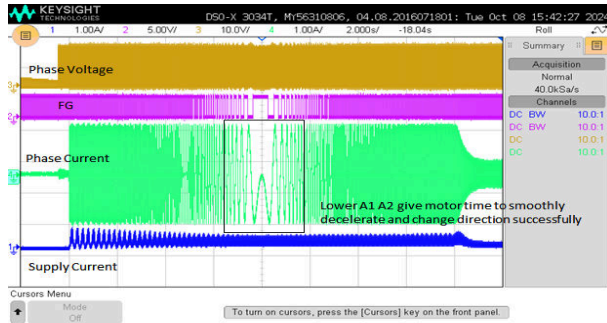


图 3-12. 根据电机特性和电流限值的适当加速度参数。成功改变方向

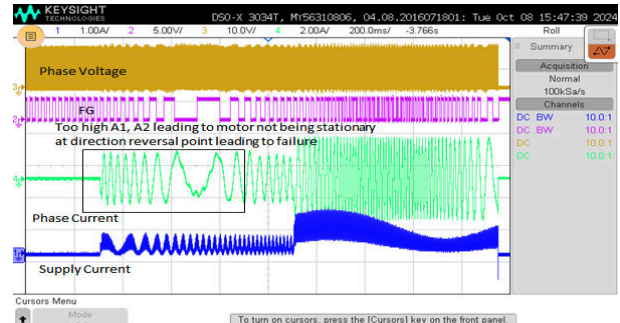


图 3-13. 加速参数过高, 导致失去同步

3.2.4 反向驱动电流限制

此电流限制可在反向期间控制电机扭矩。

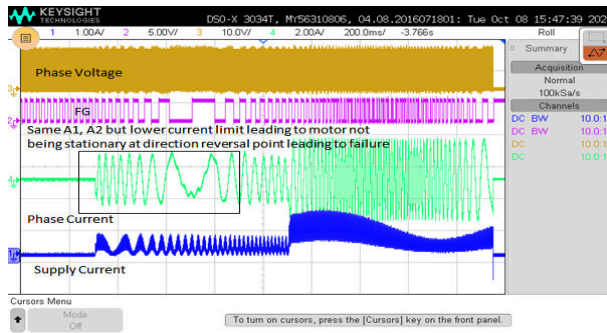


图 3-14. REV_DRV_OPEN_LOOP_CURRENT = 1.5A 时存在高 A1 (100Hz/s), 从而由于电机在方向变化时未静止而导致故障

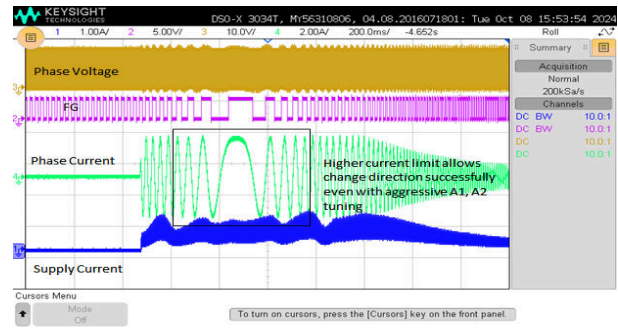


图 3-15. 增大 REV_DRV_OPEN_LOOP_CURRENT 至 2.5A 时, 按预期工作

3.2.5 反向驱动切换阈值

此参数设置反向速度阈值, 在该速度下器件从闭环转换为开环。

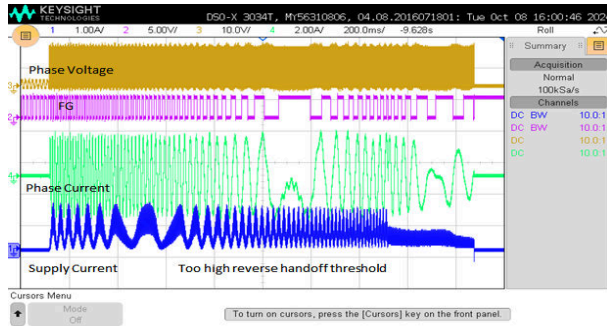


图 3-16. REV_DRV_HANDOFF_THR 阈值过高, 导致在反向开环模式下因盲减速而失去同步

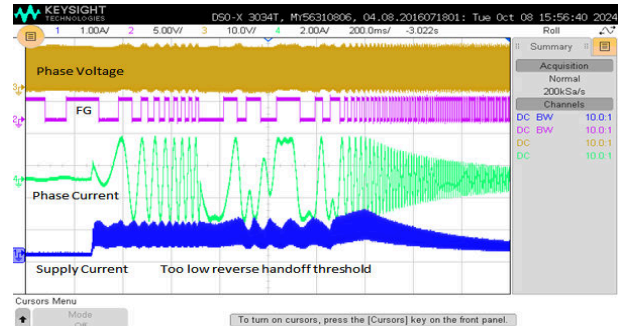


图 3-17. REV_DRV_HANDOFF_THR 阈值过低, 导致在反向闭环模式下因反电动势不可靠而失去同步

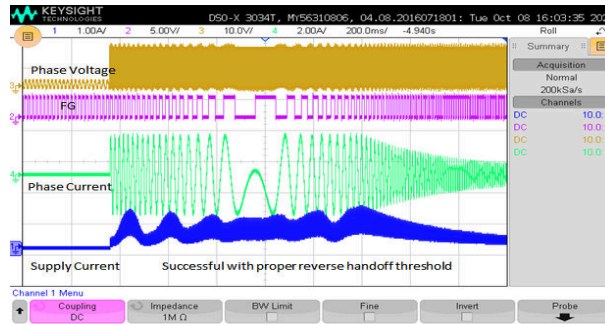


图 3-18. 使用适当的 REV_DRV_HANDOFF_THR 阈值成功实现反向

3.2.6 反向驱动开环减速 (REV_DRV_OPEN_LOOP_DEC)

决定方向变化期间开环中的加速率与减速率之比。

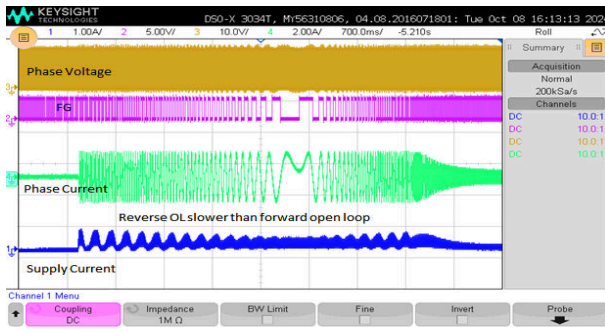


图 3-19. 反向开环加速慢于正向开环加速

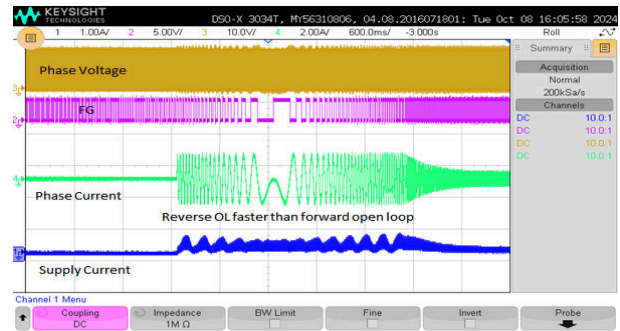


图 3-20. 反向开环加速快于正向开环加速

3.3 滑行 (高阻态)

滑行使电机随着摩擦逐渐损失能量。如果启用了 ISD 且禁用了反向驱动，但电机以相反的方向且会导致高制动电流的速度旋转，滑行尤其有用。启用滑行可让电机在执行制动之前降低速度，从而在驱动至设定的基准之前使电机进入静止状态。

表 3-4. 滑行相关配置

配置	子特性说明	调优注意事项
HIZ_EN	启用滑行通过摩擦损耗以自然降低电机速度	如果应用用例需要在制动前减速电机以避免产生高制动电流，则应启用该功能。如果启用了 ISD 但禁用了反向驱动，则启用该功能。
HIZ_TIME	使电机斜降的基于电机惯性的滑行时间。	花费时间从最大速度滑行到可接受速度，以使用可接受的制动电流执行制动。如果电机因风等外部因素而旋转，则滑行可能不起作用。

3.4 制动

启用制动功能可在电机启动之前使电机进入静止状态，以实现可靠的旋转。

表 3-5. 与制动相关的配置

配置	子特性说明	调优注意事项
BRAKE_EN	启用制动，使电机在开始启动之前静止。通常在禁用 ISD 或检测到 BEMF 小于 STAT_DETECT_THR 时生效。	保持启用状态以确保电机启动时在转子处于静止状态
BRK_MODE	在高侧制动和低侧制动之间进行选择。	可能取决于使用的 FET 和针对热阻的 FET RDSon。基于电流的制动的电流检测仅适用于低侧制动。
BRK_CONFIG	允许用户在制动时间和制动电流阈值之间进行选择以退出制动状态	建议仅在电机旋转时使用基于电流的制动。一旦电机减速且制动器电流降至配置的阈值以下，就会释放制动器。**基于电流的制动器仅适用于低侧制动。如果基于电流的制动器设置为高侧制动，则器件默认为使用基于时间的制动。
BRK_TIME	器件施加制动的最长时间。	BRK_TIME 是基于电流的制动器中的最大制动时间，即使电流未降至低于 BRK_CURR_THR 也是如此。对于基于时间的制动，BRK_TIME 定义了退出制动状态的固定时间。将此设置为从最大安全速度施加制动以停止电机的时间。
BRK_CURR_THR	电机执行制动时的电流阈值	如果启用了基于电流的制动，则此项用于退出制动。为了实现可靠启动，必须确保 BRK_CURR_THR 足够低，以便电机在退出制动之前几乎停止。设置得过低可能导致电机状态停滞在 ISD 中，直到由于噪声而出现 ISD_TIMEOUT。尝试使用最低设置，如果无法及时退出制动则增大。

表 3-5. 与制动相关的配置 (续)

配置	子特性说明	调优注意事项
BRAKE_CURRENT_PERSIST	基于电流的 ISD 制动期间电流低于阈值的持续时间	保持足够长的持续时间，以避免由于制动电流的正弦性质而导致误检测。

3.4.1 制动配置 (BRK_CONFIG)

此参数配置制动退出模式，例如基于时间的制动或基于电流的制动，并对制动时间设置超时。

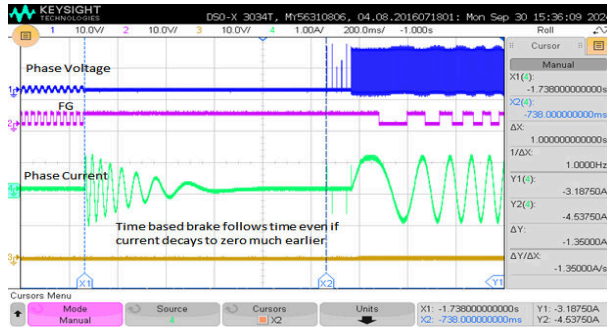


图 3-21. 基于时间的制动。配置为 1s 制动时间后退出制动

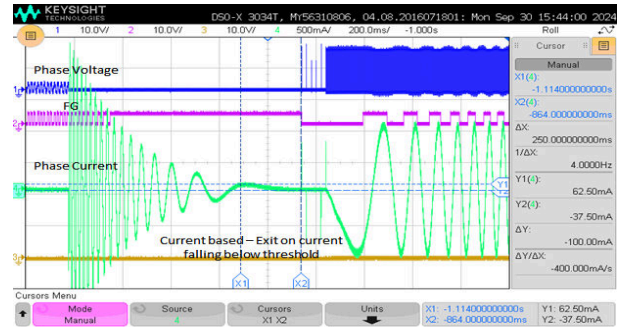


图 3-22. 基于电流的制动：基于电流阈值退出制动。

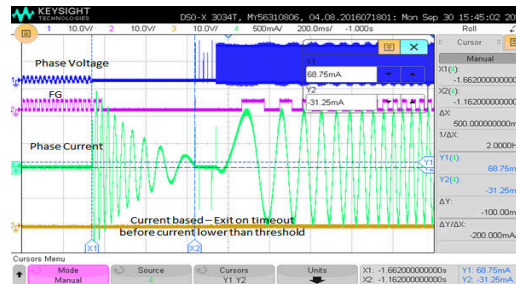


图 3-23. 基于电流的制动：基于电流制动超时退出制动

在图 3-22 中，当制动电流降至 BRK_CURR_THR 以下时会释放制动器，因为制动超时设置为 10s。在图 3-23 中，由于制动超时，即使制动电流高于 BRK_CURR_THR，也会在 500ms 后强制释放制动器。

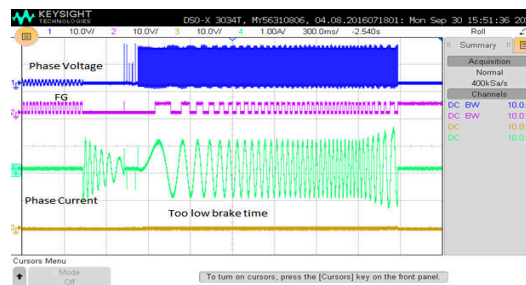


图 3-24. 电机在启动前未处于静止状态：由于制动时间短，电机仍在旋转时过早退出制动

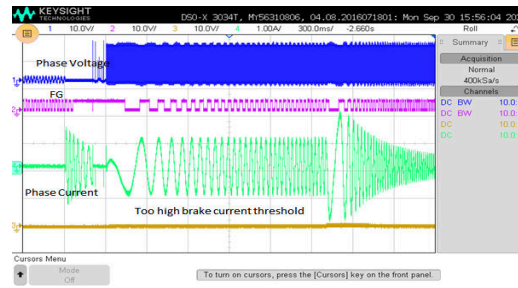


图 3-25. 电机在启动前未处于静止状态：由于制动电流阈值高，电机仍在旋转时过早退出制动

4 MCx 器件的功能可用性

器件表和功能可用性。除非特别说明，否则所有功能均受支持。

4.1 FOC 系列 (MCF83xx 器件)

在 FOC 系列 (MCF83xx 器件) 中，某些功能在较旧的器件中不可用。MCF8329A 缺少一些功能，因为此器件是单分流器件，而所有其他器件是三个分流器件。

表 4-1. FOC 系列

器件	系列	不支持的功能
MCF8316A	FOC	<ol style="list-style-type: none"> ISD_BEMF_FILE_ENABLE BRK_CONFIG BRK_CURR_THR BRAKE_CURRENT_PERSIST
MCF8316C	FOC	<ol style="list-style-type: none"> ISD_BEMF_FILTER_ENABLE
MCF8315C-Q1	FOC	<ol style="list-style-type: none"> ISD_BEMF_FILTER_ENABLE
MCF8315A	FOC	<ol style="list-style-type: none"> ISD_BEMF_FILTER_ENABLE
MCF8315C	FOC	<ol style="list-style-type: none"> ISD_BEMF_FILTER_ENABLE
MCF8315C-Q1	FOC	<ol style="list-style-type: none"> ISD_BEMF_FILTER_ENABLE
MCF8329A	FOC	<ol style="list-style-type: none"> ISD_BEMF_FILTER_ENABLE BRK_MODE BRK_CONFIG 为基于电流的制动 BRK_CURR_THR BRAKE_CURRENT_PERSIST

4.2 TRAP 系列 (MCT83xx 器件)

TRAP (MCT83xx 器件) 系列器件具有 FOC 预启动配置的子系列。反向驱动使用开环参数，而不是具有单独的配置参数。

表 4-2. Trap 器件功能可用性

器件	系列	不支持的功能
MCT8316A	TRAP	<ol style="list-style-type: none"> FAST_ISD_EN ISD_STOP_TIME ISD_RUN_TIME ISD_TIMEOUT ISD_BEMF_FILTER_ENABLE DIR_CHANGE_MODE REV_DRV_CONFIG REV_DRV_HANDOFF_THR REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A1 REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A2 REV_DRV_OPEN_LOOP_CURRENT REV_DRV_OPEN_LOOP_DEC BRK_CONFIG BRK_CURR_THR BRAKE_CURRENT_PERSIST

表 4-2. Trap 器件功能可用性 (续)

器件	系列	不支持的功能
MCT8315A	TRAP	<ol style="list-style-type: none"> 1. FAST_ISD_EN 2. ISD_STOP_TIME 3. ISD_RUN_TIME 4. ISD_TIMEOUT 5. ISD_BEMF_FILTER_ENABLE 6. DIR_CHANGE_MODE 7. REV_DRV_CONFIG 8. REV_DRV_HANDOFF_THR 9. REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A1 10. REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A2 11. REV_DRV_OPEN_LOOP_CURRENT 12. REV_DRV_OPEN_LOOP_DEC 13. BRAKE_CURRENT_PERSIST
MCT8329A	TRAP	<ol style="list-style-type: none"> 1. FAST_ISD_EN 2. ISD_STOP_TIME 3. ISD_RUN_TIME 4. ISD_TIMEOUT 5. ISD_BEMF_FILTER_ENABLE 6. DIR_CHANGE_MODE 7. REV_DRV_CONFIG 8. REV_DRV_HANDOFF_THR 9. REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A1 10. REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A2 11. REV_DRV_OPEN_LOOP_CURRENT 12. REV_DRV_OPEN_LOOP_DEC 13. BRK_CONFIG 14. BRK_CURR_THR 15. BRAKE_CURRENT_PERSIST

表 4-3 显示了配置对其他配置的依赖性以及该配置对电机运行的影响

表 4-3. 带有依赖性和权衡因素的配置

配置	对电机运行的影响	依赖项
ISD_EN	基于电机转速的初始条件的可靠且快速的电机启动。	无
FAST_ISD_EN	权衡： <ul style="list-style-type: none"> • 由于测得的 BEMF 不准确，可能产生初始电流峰值。 • 在某些情况下可能观察到反向旋转。 	<ul style="list-style-type: none"> • ISD_EN = 1b
ISD_STOP_TIME	权衡： <ul style="list-style-type: none"> • 如果持续时间太长，则重新同步时间会相应增加。 • 如果太短，则 ISD 稳健性会降低。 	<ul style="list-style-type: none"> • ISD_EN = 1b
ISD_RUN_TIME		
ISD_TIMEOUT	权衡： <ul style="list-style-type: none"> • 如果超时太长，则 ISD 时间会相应增加 • 如果太短，则 ISD 稳健性会降低。 	<ul style="list-style-type: none"> • ISD_EN = 1b
ISD_BEMF_FILTER_ENABLE	使感测到的 BEMF 平滑，以保持可靠的速度和方向确定	<ul style="list-style-type: none"> • ISD_EN = 1b

表 4-3. 带有依赖性和权衡因素的配置 (续)

配置	对电机运行的影响	依赖项
STAT_DETECT_THR	权衡： <ul style="list-style-type: none"> 如果设置得过高，器件可能会被强制在更高的速度下执行制动，从而导致更大的制动电流。 如果设置得过低，器件可能会尝试在没有足够的 BEMF 的情况下重新同步，从而导致故障或 ISD 超时 	<ul style="list-style-type: none"> ISD_EN = 1b
RESYNC_EN = 1b	如果电机按命令方向旋转，则可能实现最短启动时间。	<ul style="list-style-type: none"> ISD_EN = 1b
FW_DRV_RESYN_THR	权衡： <ul style="list-style-type: none"> 如果设置得过低，则器件可能尝试在 BEMF 不足的情况下进入闭环，从而导致故障。 如果设置得过高，即使速度足够快，器件也可能尝试以开环方式驱动电机，而不是切换至闭环方式，从而导致可靠性问题。 	<ul style="list-style-type: none"> ISD_EN = 1b RESYNC_EN = 1b
DIR_CHANGE_MODE	如果设置为 1b，则通过将电机减速至零速并反转方向来通过反向驱动以改变方向。否则，方向通过 ISD 状态机改变，如果禁用了 ISD，则电机在以命令方向启动之前通过制动器停止。	无
RVS_DRV_EN	如果电机以与命令方向相反的方向旋转，则可能以受控方式实现最短启动时间。这被认为是一种用于降低转速并使电机反转的更可控的方式。	<ul style="list-style-type: none"> ISD_EN = 1b
REV_DRV_CONFIG	如果 REV_DRV_CONFIG = 1b，则电机使用反向驱动专用的开环参数来改变方向。可以调整开环参数以处理与正常 OL 启动不同的动态特性。	<ul style="list-style-type: none"> ISD_EN = 1b RVS_DRV_EN = 1b
REV_DRV_HANDOFF_THR	权衡： <ul style="list-style-type: none"> 如果设置得过低，那么器件可能无法切换到开环，即使 BEMF 不足，也会导致故障。 如果设置得过高，即使有足够的 BEMF，器件也会切换到开环，而不是在闭环中减速。这会导致开环时间更长和驱动效率低下。 	<ul style="list-style-type: none"> ISD_EN = 1b RVS_DRV_EN = 1b REV_DRV_CONFIG = 1b
REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A1	权衡： <ul style="list-style-type: none"> 如果设置得过高，器件可能会尝试使电机快速减速，导致无法旋转以及失去同步。 如果设置得过低，则驱动器可能会随着电机转速的降低而出现急冲。 	<ul style="list-style-type: none"> ISD_EN = 1b , RVS_DRV_EN = 1b REV_DRV_CONFIG = 1b
REV_DRV_OPEN_LOOP_ACCEL_A2		
REV_DRV_OPEN_LOOP_CURRENT	权衡： <ul style="list-style-type: none"> 如果设置得过高，由于推入电机的电流超过所需量，导致电机过热，驱动器效率降低。 如果设置得过低，驱动器将无法使电机减速，并以受控方式朝相反方向加速电机，这可能会导致振动或故障。 	<ul style="list-style-type: none"> ISD_EN = 1b RVS_DRV_EN = 1b REV_DRV_CONFIG = 1b

表 4-3. 带有依赖性和权衡因素的配置 (续)

配置	对电机运行的影响	依赖项
REV_DRV_OPEN_LOOP_DEC	如果有外部因素影响驱动器，则减速率和加速度需要与开环启动时的相应值不同。	<ul style="list-style-type: none"> • ISD_EN = 1b • RVS_DRV_EN = 1b
HIZ_EN	在执行制动并继续电机启动之前，给电机提供滑行和减速的时间。	<ul style="list-style-type: none"> • ISD_EN = 1b • (RVS_DRV_EN = 1b 或 RESYNC_EN = 1b)
HIZ_TIME	由于能量仅因摩擦而损失，转速会缓慢下降，建议对高惯性电机使用较高的设置。	<ul style="list-style-type: none"> • ISD_EN = 1b • (RVS_DRV_EN = 1b 或 RESYNC_EN = 1b) • HIZ_EN = 1b
BRAKE_EN	通过在电机启动之前制动，来确保电机在启动之前处于静止状态。	无
BRK_MODE	该方法涉及一次性导通所有低侧/高侧 FET，以允许电流通过低侧/高侧 MOSFET 再循环。这样做可以有效地使反电动势短路，快速降低电机转速并耗散电机的机械能。制动会增加 FET 上的热应力，因此应注意避免频繁制动，以免导致热关断	<ul style="list-style-type: none"> • BRAKE_EN = 1b
BRK_CONFIG	基于时间的制动器会在固定的时间内执行制动，与电机转速无关。基于电流的制动器只能在电机 BEMF 下降 (由电流降至 BRK_CURR_THR 以下指示) 之前执行制动。	<ul style="list-style-type: none"> • BRAKE_EN = 1b • BRK_TIME • BRK_CURR_THR
BRK_TIME	如果 BRK_CONFIG = 0b，则器件会在 BRK_TIME 内执行制动。如果 BRK_CONFIG = 1b，则在电流降至低于 BRK_CURR_THR 和 BRK_TIME 之前，器件会执行制动，以防电流在 BRK_TIME 之前降至 BRK_CURR_THR 以下。	<ul style="list-style-type: none"> • BRAKE_EN = 1b
BRK_CURR_THR	如果 BRK_CONFIG = 1b，则器件会执行制动，直到制动电流降至 BRK_CURR_THR 以下。	<ul style="list-style-type: none"> • BRAKE_EN = 1b • BRK_CONFIG = 1b • BRK_MODE = 1b
BRAKE_CURRENT_PERSIST	权衡： <ul style="list-style-type: none"> • 如果设置得过低，当电流降至阈值以下时，驱动器可能会误报。 • 如果设置得过高，则会增加制动退出时间。 	<ul style="list-style-type: none"> • BRAKE_EN = 1b • BRK_CONFIG = 1b • BRK_CURR_THR • BRK_MODE = 1b

5 总结

无论电机初始状态如何，可靠的旋转至关重要，具体取决于预启动参数的设置。预启动调优可让用户对电机使用重新同步和反向驱动等功能，无论初始速度和方向如何，都可以达到命令的速度。这对于调优预启动以获得最佳性能至关重要，具体取决于最终应用和电机参数。本应用手册为调优 BLDC 电机预启动提供了可行的指南。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI), [MCF8316C-Q1 无传感器磁场定向控制 \(FOC\) 集成式 FET BLDC 驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [MCT831A 高速无传感器梯形控制集成式 FET BLDC 驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [MCF8316A 调优指南](#) 用户指南。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司