

Application Note

SmartTune 用户指南：如何快速设置和驱动三相 BLDC 电机

Kelly Tian, Jayden Li, Venkatadri Shantaram

摘要

磁场定向控制 (FOC) 在 BLDC 电机中越来越受欢迎，因为它能提供出色的噪声性能和负载动态性能，但要获得出色电机性能则需要大量的调优工作。MOTORSTUDIO 是一款易于使用的图形用户界面 (GUI)，可简化 TI 的无刷直流 (BLDC) 电机驱动器的调优过程，从而减少器件评估和产品开发时间。

SmartTune 是 MOTORSTUDIO 中的智能自动配置工具。该工具可帮助用户仅取系统电压、额定电机电流和额定电机转速这 3 个参数，在 2 分钟内调整 BLDC 电机驱动器的启动时间、加速度、效率和控制环路参数。

本文首先介绍了 SmartTune 的应用场景以及用户在设置过程中可能遇到的问题。然后列出了详细的调优步骤，以便用户可以按照这些步骤设置和驱动电机。最后，还提供了设置 SmartTune 参数的技巧，以帮助用户消除由不当的参数输入导致的故障。

本文目前适用于以下器件：

- [MCF8315C](#)
- [MCF8316C](#)

内容

1 简介	2
1.1 SmartTune 的优点	2
1.2 SmartTune 输入参数的定义	3
2 SmartTune 调优步骤	5
2.1 SmartTune 参数的定义	5
3 设置 SmartTune 参数的实用技巧	10
4 总结	14
5 参考资料	15

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

BLDC 驱动程序在工业和汽车领域广泛应用，可实现更高的效率、更高的速度，以及可靠且低噪的系统设计。由于具有出色的噪声性能和负载动态性能，磁场定向控制 (FOC) 是一种常用的控制方法。然而，要使用 FOC 控制方法成功运行电机，需要花费大量精力来调优大量参数。

TI 的 MOTORSTUDIO 是一款易于使用的图形用户界面 (GUI)，可简化 TI 的无刷直流 (BLDC) 电机驱动器的调优过程。SmartTune 是 MOTORSTUDIO 中的智能自动配置工具，只需输入 3 个参数即可帮助用户（尤其是初学者）快速设置和驱动电机。

1.1 SmartTune 的优点

SmartTune 在以下两种情况下尤其有用：

- 想要快速验证 TI 的电机驱动器是否能够在特定电压和电流条件下驱动电机以达到预期速度的用户。
- 用户不熟悉 TI 电机驱动器的寄存器映射设置，并希望快速获得一组配置参数，从而驱动电机。

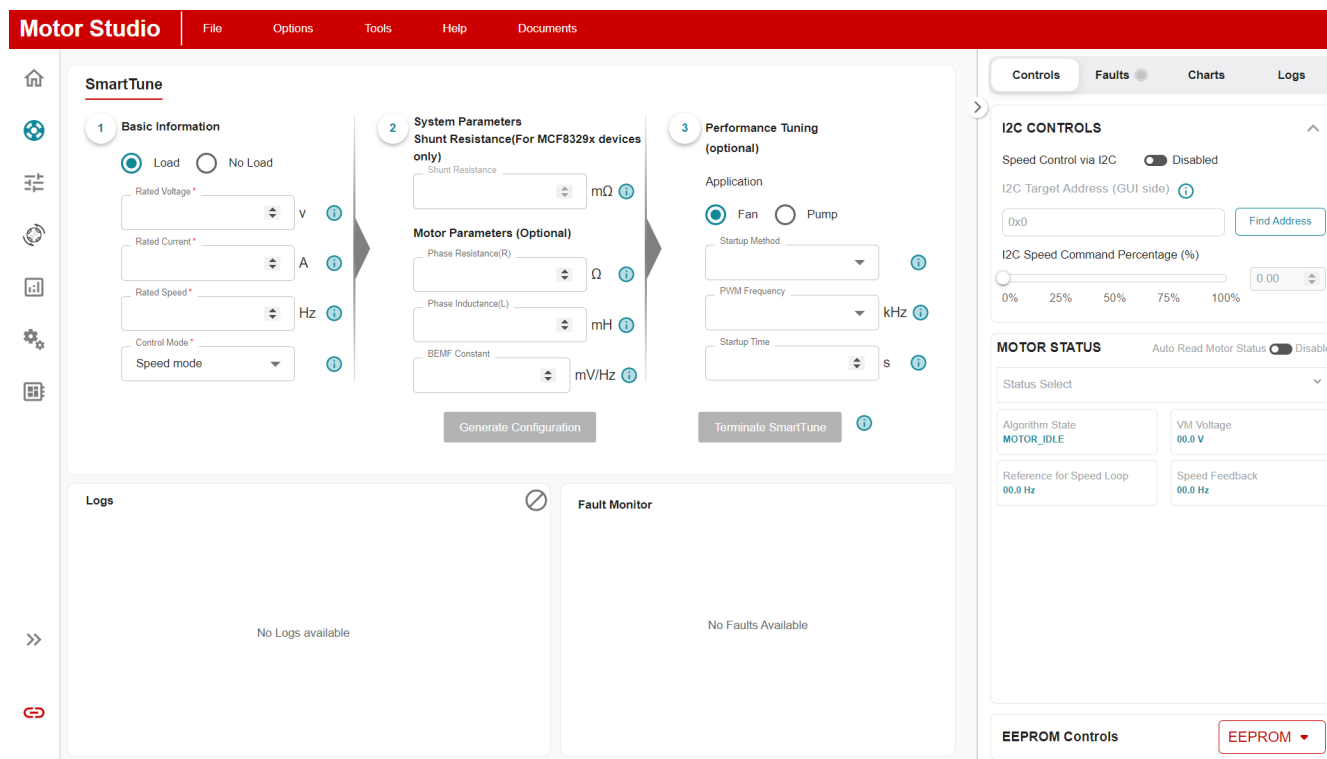


图 1-1. MOTORSTUDIO 中的 SmartTune 页面

如 图 1-1 所示，在 FOC 的传统调优中，在成功驱动电机之前，用户需要配置电机参数和系统参数，在启动、开环和闭环中调整控制参数，并设置故障处理参数，这既耗时又费劲。

使用 SmartTune，可以保存上述提到的所有步骤。用户只需根据应用要求输入额定电压、电流和速度，SmartTune 会自动为您生成配置文件。借助配置文件，用户可以立即驱动电机，或根据该文件优化参数以获得特定性能。

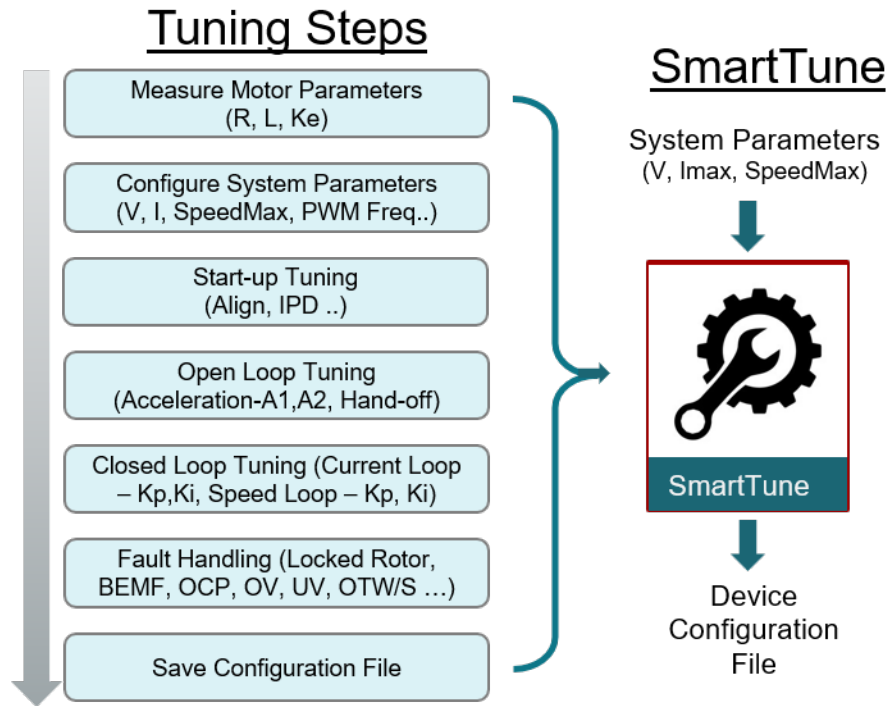


图 1-2. SmartTune 的自动配置步骤

1.2 SmartTune 输入参数的定义

SmartTune 只需输入三个系统参数。三个关键系统参数是：额定电压、额定电流和额定速度。下面列出了此定义：

- 额定电压：三相 BLDC 电机的额定直流电源电压。器件 VM 需要设置为该额定电压。
- 额定速度：三相 BLDC 电机的最大额定转速（以 Hz 为单位）。如果机械速度以 RPM (N) 为单位，则使用公式 $f = P \times N / 120$ 将该值转换为电频率（f，以 Hz 为单位）。P 是转子极数。
- 额定电流：当三相 BLDC 电机以额定速度和额定电压带负载驱动时的额定峰值相电流值。

通常，您可以在数据表中找到上述三个参数。图 1-3 中展示了电机数据表的一个示例。

>> BG 45 | cont. 80 W, peak 168 W

- Highly dynamic 3-phase EC motor with 8-pole neodymium magnet
- Version with Hall sensors for rotor position detection
- Available in 2 motor lengths
- Standard with plug version
- On request, this motor can be manufactured in different voltage versions
- For connection cable up to 3 m (Longer cables up to 10 m on request)*

- Hochdynamischer 3-strängiger EC-Motor mit 8-poligem Neodymmagnet
- Ausführung mit Hallsensoren zur Rotorlageerfassung
- Verfügbar in 2 Bauformen
- Standardmäßig mit Steckerausführung
- Diese Motoren werden auf Anfrage auch in anderen Spannungsvarianten hergestellt
- Für Anschlusskabel bis 3 m (Längere Kabel bis 10 m auf Anfrage)*



Data/ Technische Daten		BG 45x15		BG 45x30		BG 45x45
Nominal voltage/ Nennspannung	VDC	12	24	12	24	24**
Nominal current/ Nennstrom	A ¹	5.66	2.24	8.5	4.2	5.56
Nominal torque/ Nennmoment	Nm ¹	0.139	0.138	0.217	0.219	0.324
Nominal speed/ Nenn Drehzahl	rpm ¹	3327	3380	3530	3440	3400
Stall torque/ Anhaltmoment	Nm ¹	0.745	0.746	1.53	1.52	2.25
Maximum torque/ Maximales Moment	Nm ¹	0.745	0.746	1.53	1.52	2.25
No load speed/ Leerlauf Drehzahl	rpm ¹	4340	4390	4195	4110	4200
Nominal output power/ Dauerabgabeleistung	W ¹	48.4	48.8	80	79	109
Maximum output power/ Maximale Abgabeleistung	W	84	86	168	156	226
Torque constant/ Drehmomentkonstante	Nm A ⁻¹	0.0221	0.055	0.0239	0.059	0.055
Terminal Resistance/ Anschlusswiderstand	Ω	0.28	1.1	0.14	0.53	0.3
Terminal inductance/ Anschlussinduktivität	mH	0.19	0.75	0.1	0.43	0.25
Starting current/ Anlaufstrom	A ¹	34.2	17.3	64.6	31.4	45
No load current/ Leerlaufstrom	A ¹	0.6	0.3	0.82	0.4	0.5
Demagnetisation current/ Entmagnetisierungsstrom	A ¹	≥ 29	≥ 15	≥ 53	≥ 26	≥ 37
Rotor inertia/ Rotor Trägheitsmoment	gcm ²	24	24	44	44	64
Weight of motor/ Motorgewicht	kg	0.36	0.36	0.56	0.56	0.76

图 1-3. Dunkermotoren BG 45 电机数据表快照

图 1-3 是 Dunkermotoren BG 45 电机数据表的快照。如您所见，额定电压为 12V、额定速度为 $8 \times 3327 / 120 = 221.8 \text{ Hz}$ ，额定电流为 1.42A。您可以将它们输入到 SmartTune 中，并按照第 2 节中的调优步骤成功驱动电机。

但在许多情况下，用户可能对数据表有不同的应用需求，或者有时数据表不可用。在这些情况下，随机输入未知参数可能会导致系统报告故障和电机性能不令人满意。为了消除故障，第 3 节提供了一些设置 SmartTune 参数的实用技巧。

2 SmartTune 调优步骤

2.1 SmartTune 参数的定义

第 1 步：进入 SmartTune

如 图 2-1 所示。

1. 为 EVM 供电，启动 MOTORSTUDIO，选择您的器件。
2. 设置硬件。
3. 点击 SmartTune。SmartTune 页面显示如下所示：图 1-1。

有关步骤 (1)(2) 的更多信息，请参阅 [MOTORSTUDIO 入门指南](#)。

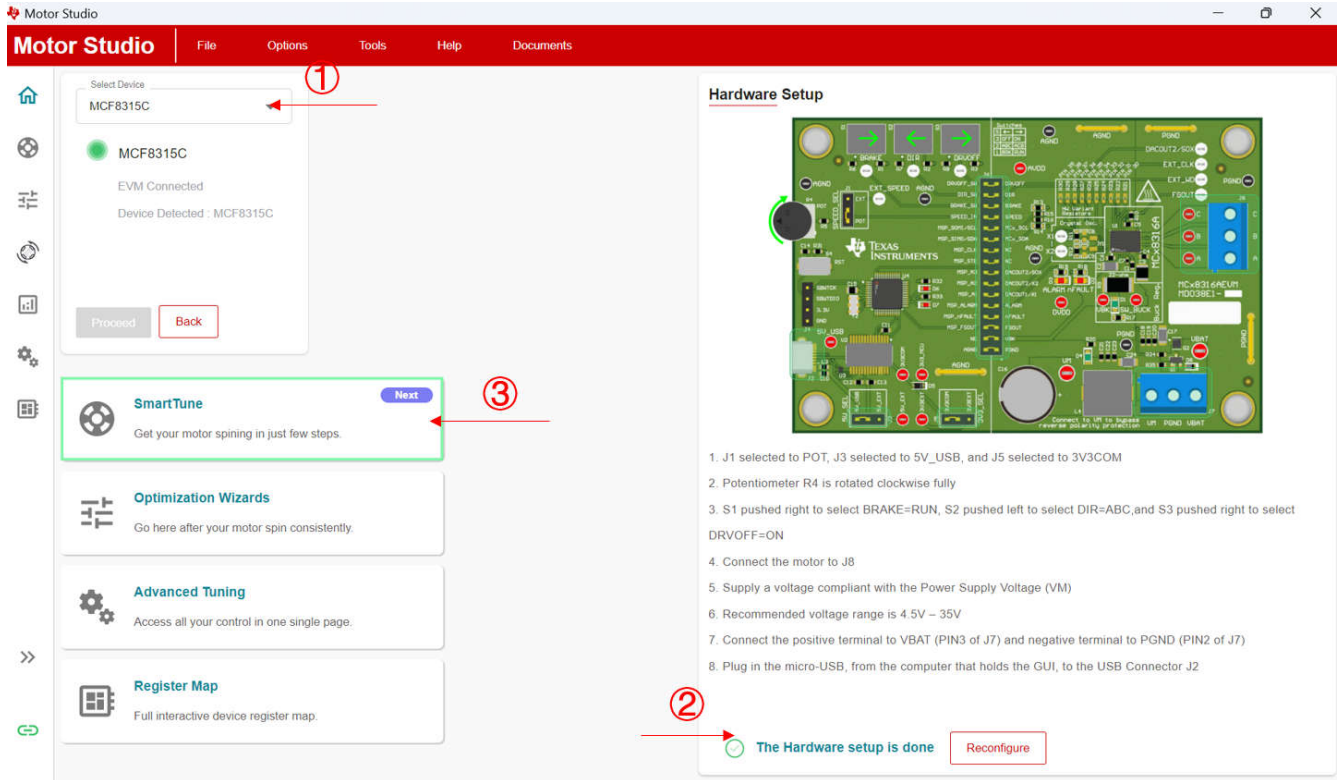


图 2-1. 进入 SmartTune

第 2 步：配置 SmartTune

如 图 2-2 所示。

1. 选择电机是否有负载。
2. 输入电机数据手册中标注的额定电压、额定电流和额定转速。这些参数定义如 节 1.1 所示。
3. 选择您希望电机在速度模式（恒定速度，同时启用速度环路和电流环路）还是在扭矩模式（恒定扭矩/电流，禁用速度环路且启用电流环路）下运行。有关速度模式和扭矩模式的更多信息，请参阅 [MCF8315C 无传感器磁场定向控制 \(FOC\) 集成式 FET BLDC 驱动程序](#) 数据表的第 6.3.12 节。
4. 点击“Generate Configuration”。

面板上的其他输入（如电机参数，启动方法等）是可选的。正确设置这些输入后，SmartTune 可以更高效地运行，并可以提高电机性能。如果您不知道该值，只需忽略它们，SmartTune 仍然可以正常工作。

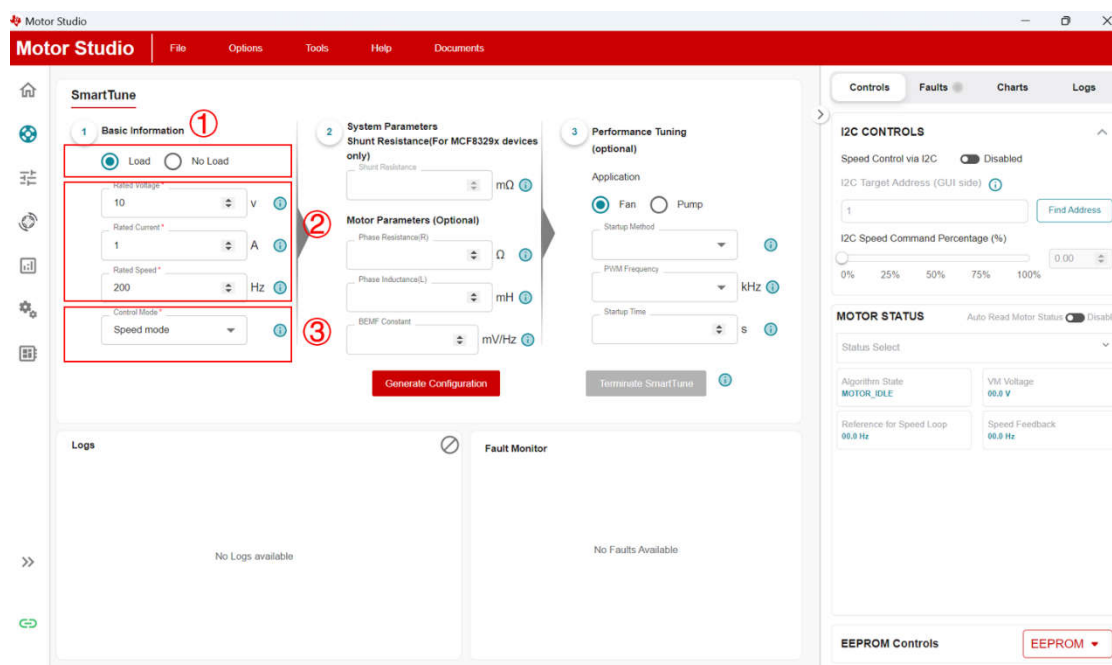


图 2-2. 配置 SmartTune

第 3 步：生成配置

如 图 2-3 所示。

1. 启用“Auto Read Motor Status”以在 SmartTune 期间观测状态。
2. 启用“Faults”面板上的“Auto Read Fault Status”，以在 SmartTune 期间观测故障。
3. 点击“Generate Configuration”。

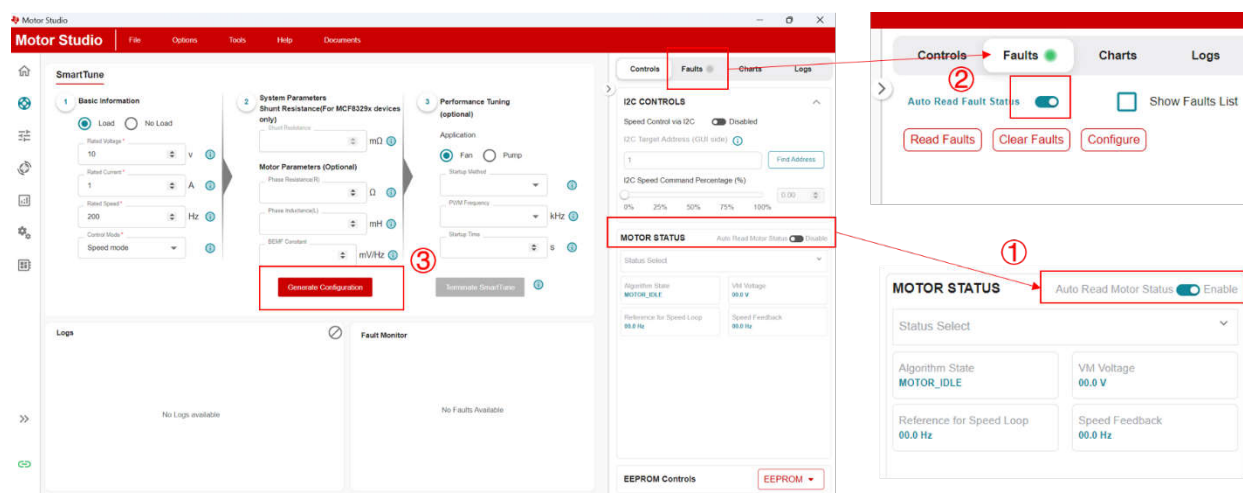


图 2-3. 生成配置

第 4 步：运行 SmartTune

如 图 2-4 所示，当 SmartTune 正在运行时，您可以：

1. 读取日志。
2. 观测故障监测器中的故障。
3. 观察电机状态变化。

步骤 (1)(2)(3) 有助于在发生故障和配置失败时找到问题所在。

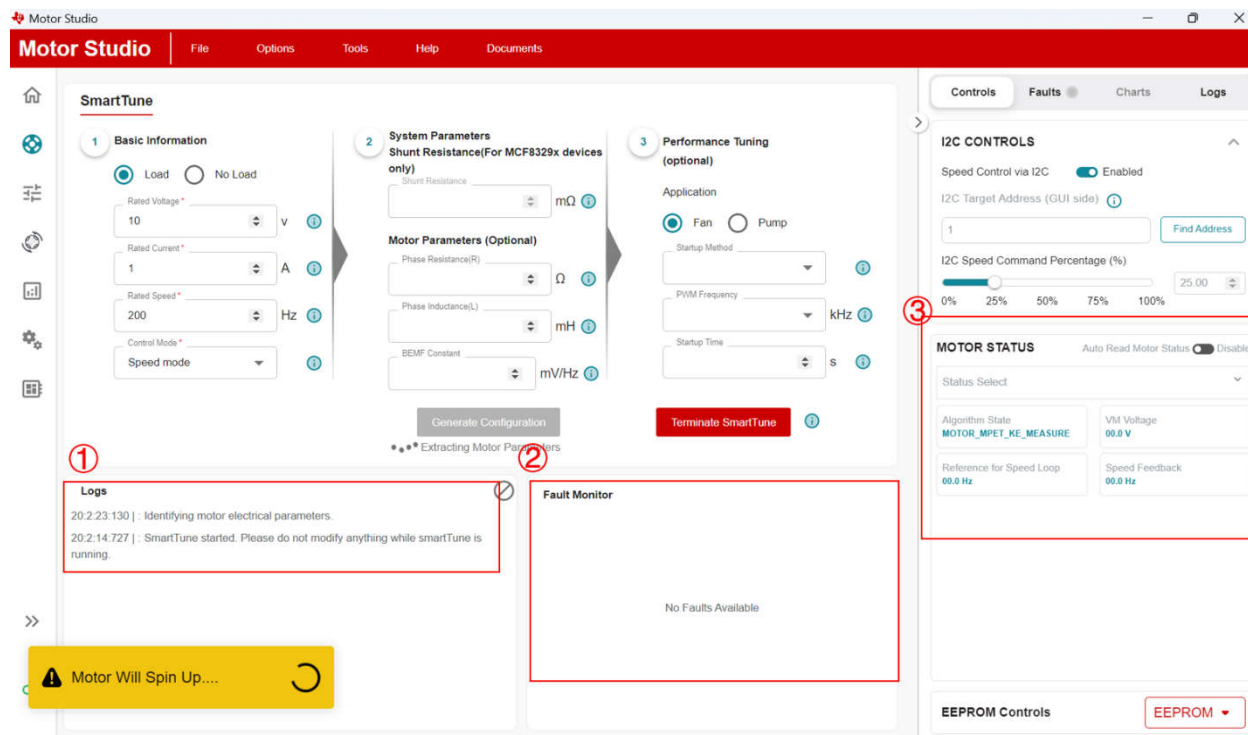


图 2-4. 运行 SmartTune

第 5 步：使用 SmartTune 结果来驱动电机

如 图 2-5 中所示，当显示绿色的“Configuration Successful”时，“Generate Configuration”按钮将变为“”。除非要重新运行 SmartTune，否则不要点击此按钮。要驱动电机，您可以：

1. 拖动“I2C Speed Command Percentage”的圆形按钮，将速度从额定速度的 0% 调整到 100%。
2. 观测“Motor Status”中的速度反馈，查看电机是否已达到基准速度。
3. 在“Fault Monitor”中观察故障，以查看电机无法驱动时是否出现问题。

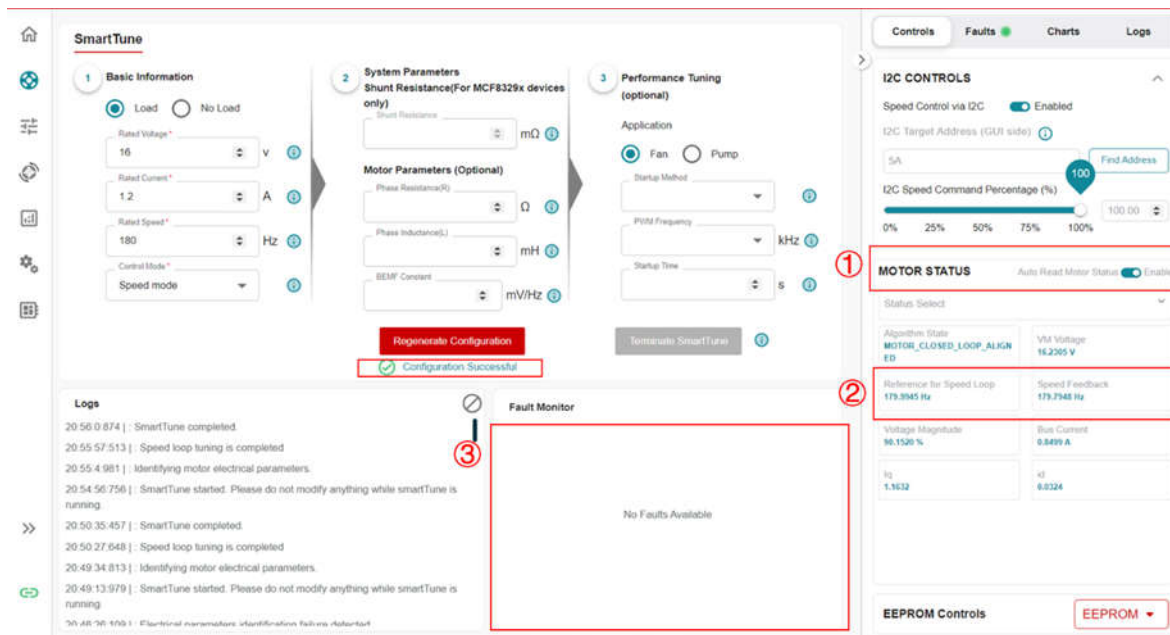


图 2-5. 使用 SmartTune 结果来驱动电机

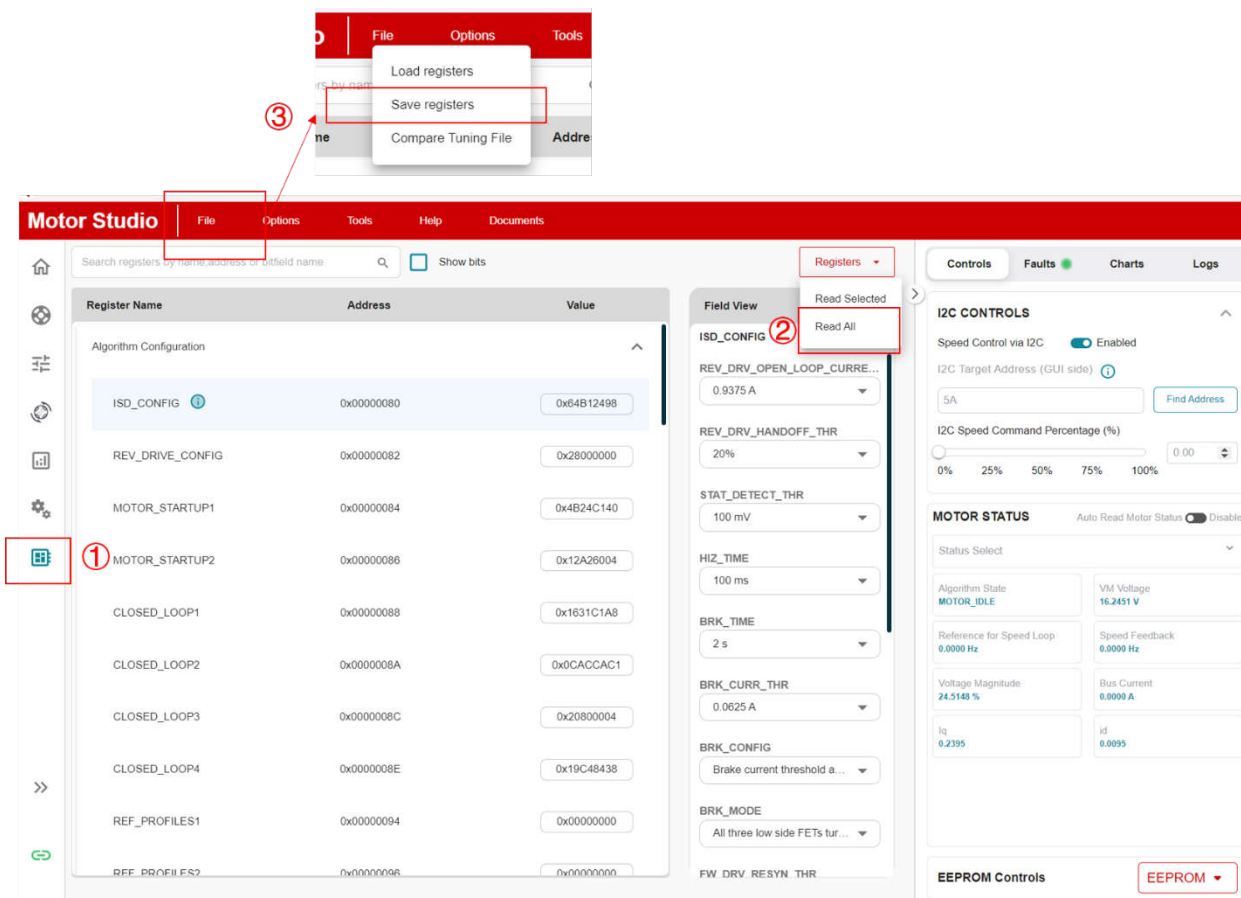


图 2-6. 保存寄存器设置

第 6 步：保存寄存器设置

如 图 2-6 所示，如果要保存 SmartTune 生成的配置：

1. 从左侧导航栏中，点击最后一个图标、即“Register Map”。
2. 点击“Registers”，并选择“Read All”。然后将全部配置读取入相应的寄存器。
3. 从顶部导航栏中，点击“File”，然后选择“Save registers”。然后将寄存器设置保存到 .json 文件中。

下次要使用此配置时，从顶部导航栏中点击“File”，选择“Load registers”，然后选择您保存的 .json 文件。

3 设置 SmartTune 参数的实用技巧

在许多情况下，系统级电压和预期速度通常与电机数据表指定的值不同（或者在某些情况下，用户甚至没有数据表）。因此，当电机在该电压和转速下运行时，其电流值是未知的。如果用户随机设置电流值，则会触发故障，电机无法达到预期速度。本节介绍了一些技巧，供用户了解发生故障时应采取的措施以及如何设置正确的电流值。

首先，**额定电流参数必须设置为小于电机驱动器的峰值输出电流能力**。该值可在电机驱动器数据表中找到。此外，**外部电源的电流限制需要高于电机所需的电流**，以避免电源的电流钳位。

然后，假设您的电流设置已经小于电机驱动器的峰值输出电流，如果发生以下情况之一，则表明您的电流设置仍然过高，您可以将电流值减小一点并重试：

- SmartTune 配置失败，故障监测器显示 MPET_IPD_FAULT。

这表明设置的电流值太高，SmartTune 无法计算电机参数。为确保不会发生此故障，电流也需要小于 V/R ，其中 R 是电机相位电阻。

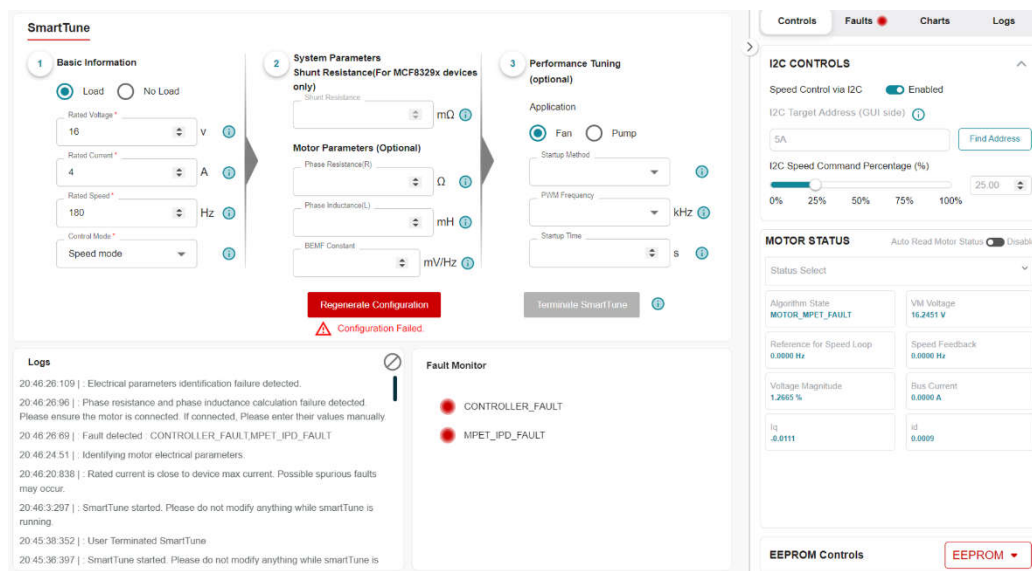


图 3-1. SmartTune 配置失败和 MPET_IPD_FAULT

- SmartTune 配置失败，故障监测器显示 CURRENT_LOOP_SATURATION。

这表明，即使 PWM 占空比设置为接近 100%，仍无法达到额定电流。在“Motor Status”面板中检查“Voltage Magnitude”（如果未显示，请点击“Status Select”并勾选此参数），您可以看到“Voltage Magnitude”接近 100%。

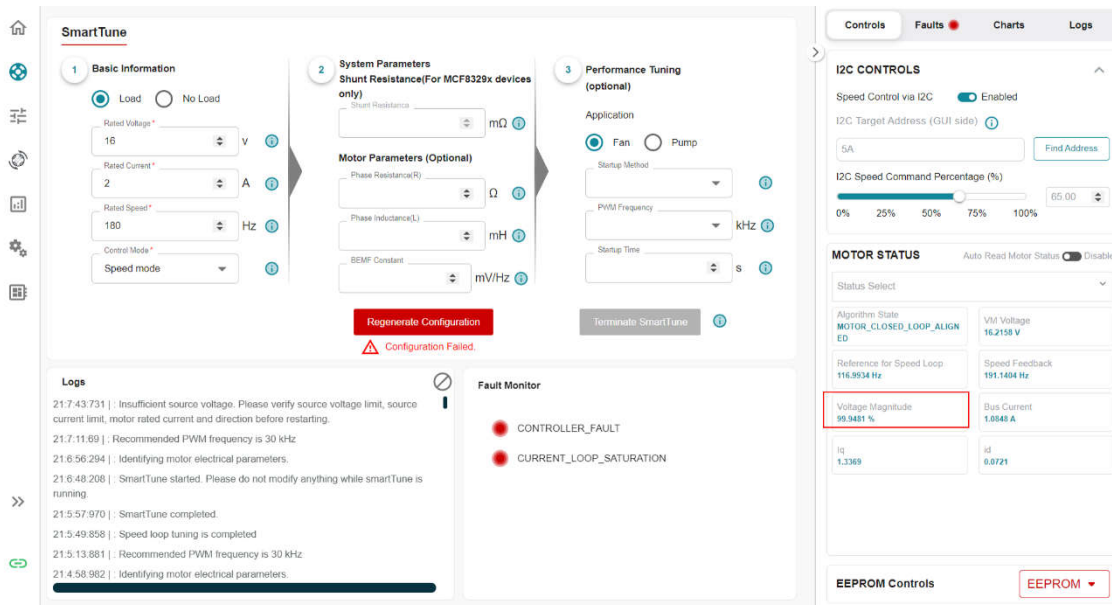


图 3-2. SmartTune 配置失败和 CURRENT_LOOP_SATURATION

如果出现以下情况之一，这表示您的当前设置过低，您可以稍微增加当前值并重试：

- SmartTune 配置失败，故障监测器显示 MPET_BEMF_FAULT。

这表明，在转速水平不足之前，SmartTune 无法检测 BEMF 并计算 BEMF 常数。

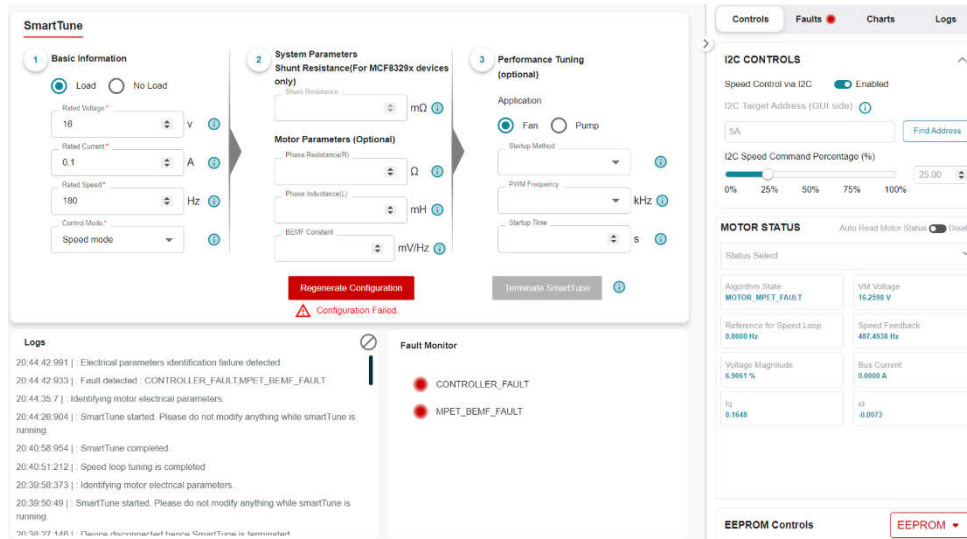


图 3-3. SmartTune 配置失败和 MPET_BEMF_FAULT

- SmartTune 配置成功，但当您将转速设置为 100% (最大值) 时，故障监视器会持续显示 SPEED_LOOP_SATURATION。

这表明，在电机达到额定速度之前电流被钳位。在“Motor Status”面板中检查“Speed Feedback”（如果未显示，请点击“Status Select”并勾选此参数），您可以看到速度反馈小于速度环路的参考值。此时，电压量级远小于 100%，因此 PWM 占空比仍然有裕度，但已达到电流阈值。

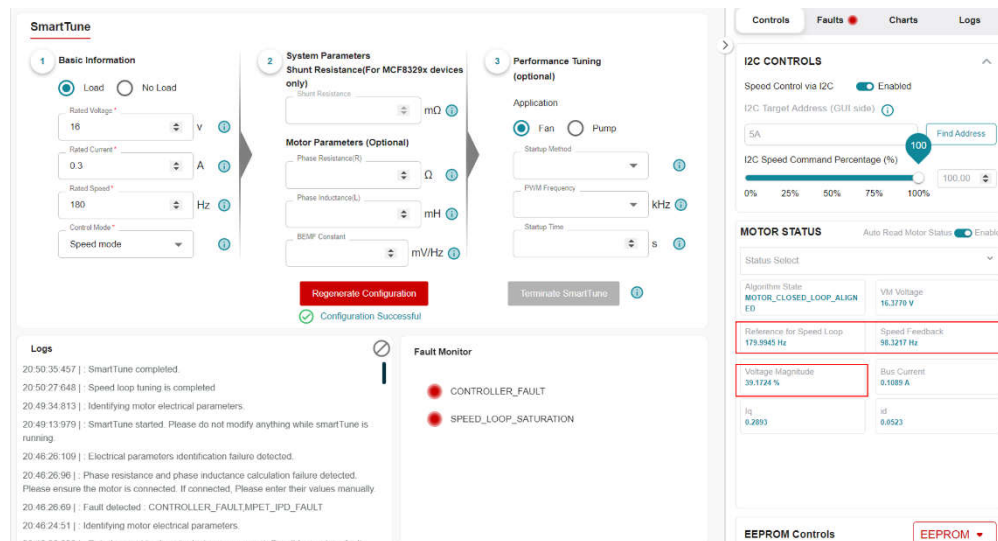


图 3-4. SmartTune 配置成功和 SPEED_LOOP_SATURATION

如果出现以下情况，则表明系统电压不足以在 SmartTune 配置下达到预期速度，您需要增加额定电压或降低额定速度。

- SmartTune 配置成功，但当您将速度设置为 100% 时，故障监视器会持续显示 SPEED_LOOP_SATURATION 和 CURRENT_LOOP_SATURATION。

这表明 PWM 占空比设置为接近 100%，但无法同时达到额定电流和额定速度。在“Motor Status”面板中检查“Voltage Magnitude”和“Speed Feedback”（如果未显示，请点击“Status Select”并勾选此参数），您可以看到电压幅度接近 100%，但速度反馈速度小于速度环路的参考值。

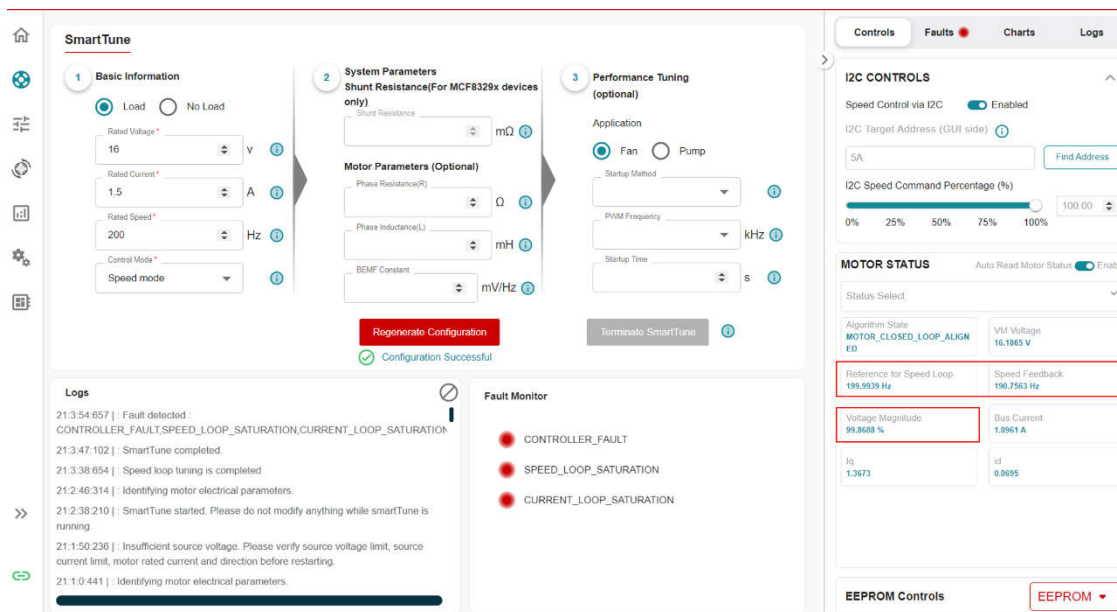


图 3-5. SmartTune 配置成功，SPEED_LOOP_SATURATION 和 CURRENT_LOOP_SATURATION

图 3-6 总结了上述所有故障情况以及调优技巧：

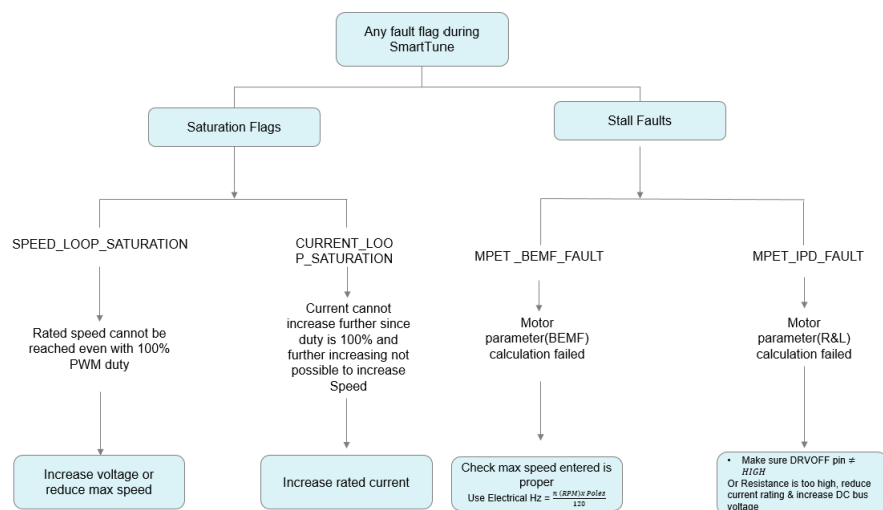


图 3-6. 故障和调优技巧

4 总结

SmartTune 是一款有用的工具，可帮助用户快速验证 TI 的电机驱动器是否能够在特定电压和电流条件下驱动电机以达到预期速度。它会根据仅三个参数（额定电压、额定电流和额定电机转速）的输入，自动生成一组配置参数来驱动电机，既易于使用又省时。

正确输入这三个参数对于 **SmartTune** 成功生成配置并驱动电机至关重要。请遵循本文档提供的调优技巧，以消除由于输入参数不匹配而导致的故障和不满意的性能。

5 参考资料

1. 德州仪器 (TI) , [MOTORSTUDIO 入门指南](#) , 应用手册。
2. 德州仪器 (TI) , [MCF8315C 无传感器磁场定向控制 \(FOC\) 集成式 FET BLDC 驱动器](#) 数据表。
3. Dunkermotoren , [BG 45](#) , 数据表。

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、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月