

# TMS320F28069M, TMS320F28068M InstaSPIN™-MOTION 软件

## Technical Reference Manual



Literature Number: ZHCU082A  
April 2013–Revised November 2013

<b>1</b>	<b>F2806xM InstaSPIN™-MOTION 已启用的 MCU</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>InstaSPIN-MOTION 关键功能和优势</b> .....	<b>7</b>
2.1	FAST 统一软件观测器 .....	7
2.2	SpinTAC 运动控制套件 .....	8
2.3	额外 InstaSPIN-MOTION 特性 .....	11
<b>3</b>	<b>InstaSPIN-MOTION 方框图</b> .....	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>应用示例</b> .....	<b>19</b>
4.1	跑步机传送带：不同速度和负载下的平滑运动。 .....	19
4.2	视频摄像机：低速时平滑运动和位置准确度 .....	19
4.3	洗衣机：低速时的平滑运动和位置准确度 .....	19
4.4	InstaSPIN-MOTION 在整个工作范围内的运行 .....	22
<b>5</b>	<b>InstaSPIN-MOTION 替代需要对参数不断进行调整的 PID 控制器</b> .....	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>评估 InstaSPIN-MOTION 性能</b> .....	<b>26</b>
6.1	速度控制性能：SpinTAC 与 PI 相比较 .....	26
6.2	SpinTAC 位置控制性能 .....	37
<b>7</b>	<b>微控制器资源</b> .....	<b>46</b>
7.1	CPU 利用率 .....	46
7.2	内存利用率 .....	51
<b>附录 A</b>	<b>术语和首字母缩略词定义</b> .....	<b>53</b>
	<b>修订历史记录</b> .....	<b>55</b>

## 附图目录

1	InstaSPIN-MOTION = C2000 Piccolo MCU + FAST 软件传感器（可选）+ 自动调整内部转矩控制器 + SpinTAC 运动控制套件.....	5
2	SpinTAC 运动控制套件组件 .....	7
3	简单调整接口 .....	9
4	SpinTAC™ Move 曲线说明 .....	9
5	针对一台洗衣机的状态转换图.....	10
6	针对一扇车库门系统的状态转换图 .....	11
7	除了 ROM 中的 FAST 和 SpinTAC，用户内存中的 InstaSPIN-MOTION.....	13
8	ROM 中的 InstaSPIN-MOTION.....	14
9	使用机械传感器进行的 InstaSPIN-MOTION 速度控制.....	16
10	机械传感器和冗余 FAST 软件传感器进行的 InstaSPIN-MOTION 位置控制.....	18
11	洗衣机系统配置 .....	20
12	InstaSPIN-MOTION 最大限度地减少误差 .....	21
13	第一个旋转周期 - 500rpm .....	21
14	第二旋转周期 - 2000rpm.....	22
15	施加转矩干扰比较 .....	24
16	移除转矩干扰比较 .....	25
17	最大速度误差和稳定时间的抗扰测试.....	27
18	控制器饱和时的抗扰测试 .....	28
19	基准跟踪测试期间使用的速度系统配置 .....	31
20	基准跟踪期间针对 PI 控制器的较大过冲.....	32
21	基准跟踪期间针对 PI 控制器的速度跟踪误差 .....	33
22	PI 控制器零速度启动的启动误差.....	34
23	最大过冲和稳定时间的阶跃响应 .....	36
24	最大速度误差和稳定时间的抗扰测试.....	38
25	基准跟踪测试期间使用的位置系统配置 .....	40
26	最大过冲和稳定时间的阶跃响应 .....	42
27	针对 Teknic M-2013P 的惯性估算结果 .....	44
28	针对 Estun EMJ-04APB22 的惯性估算结果.....	45
29	软件执行时钟树用实时调度提供灵活性 .....	46
30	为 InstaSPIN-FOC 和 SpinTAC 库分配的 F2806x 和 F2806xM 内存 .....	52

## 附表目录

1	InstaSPIN-MOTION 应用示例 .....	6
2	PI 与 InstaSPIN-MOTION 间的关系.....	23
3	SpinTAC 与 PI 抗扰测试结果比较（对于 Teknic 电机） .....	29
4	SpinTAC 与 PI 抗扰测试结果比较（对于 Estun 电机） .....	30
5	SpinTAC 与 PI 控制器跟踪测试结果比较.....	35
6	SpinTAC 与 PI 阶跃响应测试结果比较（对于 Teknic 电机） .....	37
7	SpinTAC 与 PI 阶跃响应测试结果比较（对于 Estun 电机） .....	37
8	SpinTAC 位置控制抗扰测试结果（对于 Tecknic 电机） .....	39
9	SpinTAC 位置控制抗扰测试结果（对于 Estun 电机） .....	39
10	SpinTAC 位置系统配置跟踪测试结果 .....	41
11	SpinTAC 位置控制阶跃响应测试结果（对于 Teknic 电机） .....	42
12	SpinTAC 位置控制阶跃响应测试结果（对于 Estun 电机） .....	43
13	在 RAM 执行库时，SpinTAC CPU 周期利用率.....	47
14	在闪存中执行库时，SpinTAC CPU 周期利用率 .....	49
15	针对 SpinTAC 组成部分的代码尺寸和 RAM 用量 .....	51
16	SpinTAC 组成部分 + InstaSPIN-FOC 的堆栈利用率.....	51

# TMS320F28069M, TMS320F28068M InstaSPIN™-MOTION 软件

## 1 F2806xM InstaSPIN™-MOTION 已启用的 MCU

InstaSPIN-MOTION [TMS320F2806xM (69M 和 68M - 80 或 100 引脚封装)] 是由德州仪器 (TI) 首次提供的器件，它将 TI 32 位 C2000™ Piccolo™ 微控制器与综合电机、运动、速度、和位置控制软件组合在一起。InstaSPIN-MOTION 以最高效率为运行在不同运动状态转换中的电机应用提供稳健耐用的速度和位置控制。InstaSPIN-MOTION 是您自己的单片运动控制专家。

InstaSPIN-MOTION 是一款无传感器或传感磁场定向电机控制 (FOC) 解决方案，此解决方案能够在几分钟的时间内识别、调整并且控制您的电机。InstaSPIN-MOTION 特有 FAST™ 优质软件传感器和 SpinTAC™ 运动控制套件 (图 1)。核心算法被嵌入到 TI 32 位 C2000 Piccolo 微控制器 (MCU) 上的只读存储器 (ROM) 内。

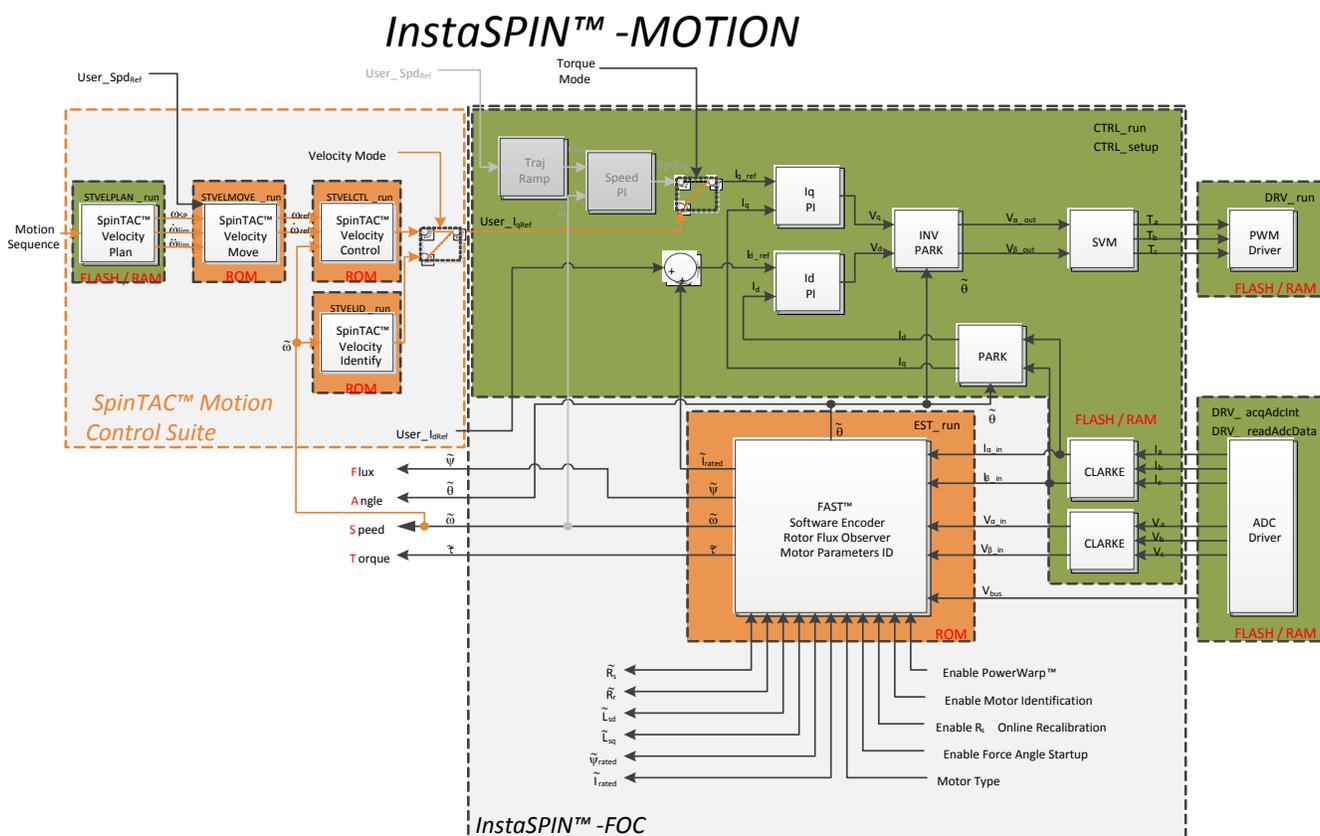


图 1. InstaSPIN-MOTION = C2000 Piccolo MCU + FAST 软件传感器 (可选) + 自动调整内部转矩控制器 + SpinTAC 运动控制套件

InstaSPIN, C2000, Piccolo, FAST, PowerWarp are trademarks of Texas Instruments.  
 SpinTAC is a trademark of LineStream Technologies.  
 All other trademarks are the property of their respective owners.

InstaSPIN-MOTION 十分适合于需要精确速度和位置控制，最小干扰的应用，或者要进行多状态变换或经历动态速度或负载变化的应用。

表 1 提供将大大得益于 InstaSPIN-MOTION 的应用示例。

表 1. InstaSPIN-MOTION 应用示例

应用特性	示例
精确的速度控制	工业用风扇 传送带系统 电梯/扶梯 车体部件（电动车窗、蓬顶等） 光盘驱动器/硬盘 医疗混合
精确的位置控制	监控系统 包装系统 医疗机器人 Gimbal 系统 纺织/缝纫机器
最小干扰	牙科工具 电动工具 安检门和防盗门
进行多状态变换/动态变化	加热，通风和空调环境系统 (HVAC) 泵、风扇和鼓风机 发电机 空调压缩机 洗衣机 健身设备 医疗泵

这份文档专注于 InstaSPIN-MOTION 中提供的附加特性，并且是全部标准 TMS320F2806x 文档的补充，其中包括：

**[SPRS698](#)** — *TMS320F28069, TMS320F28068, TMS320F28067, TMS320F28066, TMS320F28065, TMS320F28064, TMS320F28063, TMS320F28062* **Piccolo** 微控制器数据手册。包含 2806x 器件的引脚分配、信号描述以及电子和时序技术规范。

**[SPRUH18](#)** — *TMS320x2806x Piccolo* 技术参考手册。详述了针对每一个外设和器件中子系统的集成、环境、功能说明，以及程序设计模型。

**[SPRU566](#)** — 《*TMS320x28xx, 28xxx DSP 外设参考指南*》。描述了 28x 数字信号处理器 (DSP) 的外设参考指南。

此外，InstaSPIN-MOTION 文档包包括：

**[SPRUHJ1](#)** — *TMS320F2802xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xM InstaSPIN-MOTION* 用户指南。涵盖以下范围和功能性：

- F2806xM 器件
- F2806xM ROM 内容
- InstaSPIN-MOTION 系统解决方案。

## 2 InstaSPIN-MOTION 关键功能和优势

InstaSPIN-MOTION 用最大限度提高系统性能且尽可能减少设计工作的解决方案来取代低效率、之前的设计技术。通过嵌入与芯片相关的电机专业技术，InstaSPIN-MOTION 使得用户能够专注于优化他们的应用，而不是纠结于运动控制。

InstaSPIN-MOTION 提供以下核心功能：

- **FAST** 统一软件观测器，此观测器充分利用那些使用磁通量用于能量转换的所有电机之间的相似性。**FAST** 估算器测量转子磁通（幅度，角度和速度）以及一个无传感器 **FOC** 系统中的转轴转矩。
- 电机参数识别，被用来调整 **FAST** 软件观测器，并且初始化针对 **FOC** 系统的  $I_q$  和  $I_d$  控制的最内部电流（转矩）**PI** 控制器。
- **SpinTAC**，LineStream Technologies 公司的综合性运动控制套件（请见图 2），简化了调整并且确保动态速度和位置范围内的最优性能。

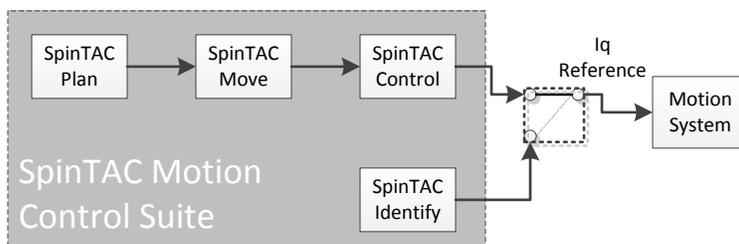


图 2. SpinTAC 运动控制套件组件

### 2.1 FAST 统一软件观测器

**FAST** 统一观测器结构充分利用那些使用磁通量用于能量转换的所有电机之间的相似性：

- 支持同步电机（无刷直流 (BLDC)，同步永磁电机 (SPM)，内部永磁电机 (IPM)）和异步电机 (ACIM) 控制。
- 提供针对内部永磁电机的凸极补偿。观测器在  $L_s-d$  和  $L_s-q$  被提供时准确跟踪转子磁通和角度。

**FAST** 为系统控制提供独特的，高质量电机反馈信号：

- 针对稳定磁通监视和场强减弱的高质量 **磁通** 信号。
- 与独立于 **ACIM** 全部转子参数的传统观测器技术相比，在更宽的速度范围内具有出色的转子磁通 **角度** 估算精度。
- 实时低噪声电机转轴 **速度** 信号。
- 针对负载监视和失衡检测的准确高带宽 **转矩** 信号。

**FAST** 替代机械编码器和解算器，并且加快控制系统设计：

- 施加波形第一个周期内的角度估算器收敛，与速度无关。
- 全部功率象限内的稳定运行，其中包括发电机象限。
- 满转矩时，稳定状态速度下（典型值低于 1Hz）的准确角度估算。
- 即使在经历零速度的低速反向期间也可保持角度完整性。
- 停转情况下保持角度完整性，从而实现平稳的停转恢复。
- 电机识别在少于 2 分钟（典型值）的时间内测量所需的空载电机的电机参数。
- “高速数据传输错误纠正 (On-the-fly)”定子电阻再校准（在线  $R_s$ ）实时跟踪定子电阻变化，从而获得温度范围内的稳健耐用运行。这个特性也可被用作电机绕组的温度传感器（需要基点校准）。

- 大大优于传统观测器的转子磁通角度跟踪的瞬态响应。
- PowerWarp™ 自适应减少流耗以最大限度地降低组合（转子和定子）铜损耗到最低，而又无需影响 ACIM 输出功率级。

## 2.2 SpinTAC 运动控制套件

SpinTAC 最大限度地减少您在定义电机旋转方式时所花费的时间，并且确保您的电机以最佳水平运转，从而实现理想性能。关键优势包括：

- 经简化的调整 - 用一个单一参数在整个位置和速度运行范围内调整您的系统。
- 直观轨迹规划 - 轻松设计和执行复杂运动序列。
- 机械可靠运动 - 根据您的系统的机械限制来优化速度转换。
- 理想控制 - 基于 LineStream 公司已获专利的主动抗扰控制，受益于市面上最准确的速度和位置控制。

在 SpinTAC 运动控制套件中包含四个组成部分：**Identify**（识别），**Control**（控制），**Move**（移动）和 **Plan**（规划）。这些组成部分中的每一个都用于速度和位置解决方案。

### IDENTIFY

SpinTAC Identify 估算惯性（一个物体围绕轴旋转加速的阻力）。系统的惯性越大，电机加速或减速所需的转矩也就越大。SpinTAC 速度控制器使用系统的惯性值来提供最准确的系统控制。SpinTAC Identify 通过使电机在应用中旋转并且测量反馈来自动测量系统惯性。

### CONTROL

SpinTAC Control 是一款高级速度和位置控制器，此控制器特有主动抗扰控制 (ADRC)，此控制主动实时地估算且补偿系统干扰。SpinTAC 自动补偿由以下因素导致的有害系统运行方式：

- 不确定因素（例如，共振模式）
- 非线性摩擦
- 负载变化
- 环境变化。

SpinTAC Control 显示比 PI 控制所能提供的更好干扰抑制和轨迹跟踪信息，并且能够耐受宽范围的惯性变化。这意味着 SpinTAC 提升了精度和系统性能，并且最大限度地减少机械系统强制。

借助于单系数调整，SpinTAC 控制器使得用户能够快速地将他们的速度和位置控制从软响应测试和调整为硬响应。这个单个增益（带宽）通常在应用的整个可变速度、位置和负载范围内起作用，从而减少了基于 PI 的多变量系统中的典型复杂度和系统调整时间。一个单个参数控制位置和速度。这些系统常常需要十二个或更多的已调整系数集合来处理全部可能的动态情况。

InstaSPIN-MOTION (F2806xM) 图形用户界面 (GUI)（请见图 3），连同 InstaSPIN-MOTION 快速入门指南，使得用户能够使用 TI 的评估套件以及 TI 提供的电机，或者他们自己的电机快速评估 InstaSPIN-MOTION（速度控制）。GUI 被设计成在整个 InstaSPIN-MOTION 评估过程中为您提供快速指导。您可以从 [www.ti.com/tool/motorkitscncd69miso](http://www.ti.com/tool/motorkitscncd69miso) 中免费获得此 GUI。一旦您确定 InstaSPIN-MOTION 适合于您的应用，请使用基于 MotorWave 的项目，连同《TMS320F2802xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xM InstaSPIN-MOTION 用户指南》（文献编号：[SPRUHJ1](#)）来设计您的项目并且执行性能测试。

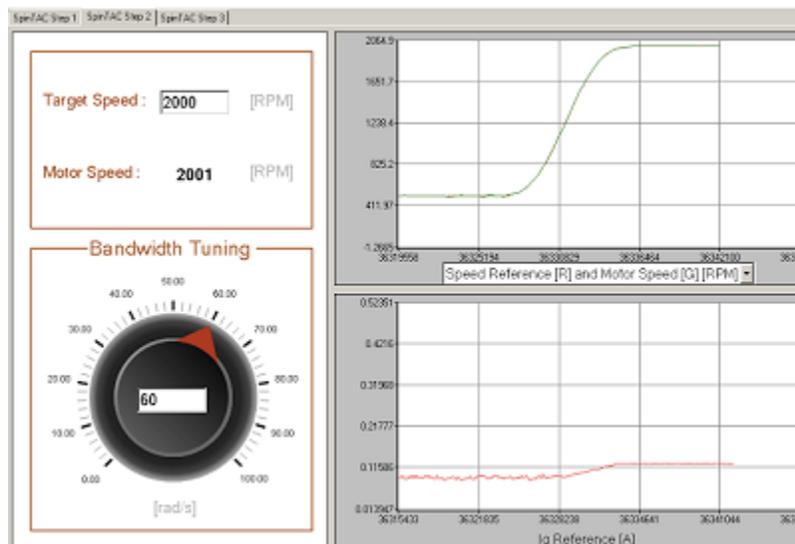


图 3. 简单调整接口

### Move

SpinTAC Move 通过计算点 A 和点 B 之间的最快路径来提供一个速度或位置到另外一个速度或位置平稳转换的简单方法。SpinTAC 移动生成一个基于启动速度或位置、所需速度或位置，以及针对加速和急动的已配置系统限制的系统配置。急动代表加速度变化率。更大的加速度变化率将增加更快速率时的加速度。步进，或两个点之间的突然运动会导致系统振荡。步进越大，这个趋势越明显。对于急动的控制可使速度角变得圆滑，从而减少振荡。因此，加速度可被设定的更高一些。控制您系统中的急动将减少您系统组件上的机械应力，并且能够获得更好的稳定性和更少的故障部件。

与预先定义的查询表相反，SpinTAC Move 在处理器上运行，从而比传统解决方案占用更少的存储器。除了行业标准梯形曲线和 s 曲线 SpinTAC 还提供一个专有的 s 曲线，此曲线比 s 曲线更平滑，并且使得用户能够限制突然的机械运动。

图 4 描述了可在 SpinTAC Move 内使用的曲线。LineStream 专有 st 曲线通过使系统配置的加速变得平滑来提供最平稳的机械运动。对于大多数应用，st 曲线代表最佳机械运动系统配置。

Signals	Trapezoidal	s-Curve	st-Curve
Position	Smooth	Smooth	Smooth
Velocity	Continuous	Smooth	Smooth
Acceleration	Bounded	Continuous	Smooth
Jerk	Infinite	Bounded	Continuous

图 4. SpinTAC™ Move 曲线说明

PLAN

SpinTAC Plan 提供复杂机械运动序列的简单设计和执行。 轨迹规划特性使得用户能够快速建立不同的运行状态（速度或位置 A 到速度或位置 B），并且将它与基于状态的逻辑电路关联起来。 SpinTAC Plan 可被用来执行一个针对几乎全部应用的机械运动序列。 图 5 显示一个洗衣机的机械运行序列，而图 6 显示一个车库门的机械运行序列。 可使用 SpinTAC Plan 来轻松设计这些机械运动序列。 一旦设计完成，轨迹被直接嵌入到微控制器上的 C 语言代码中。

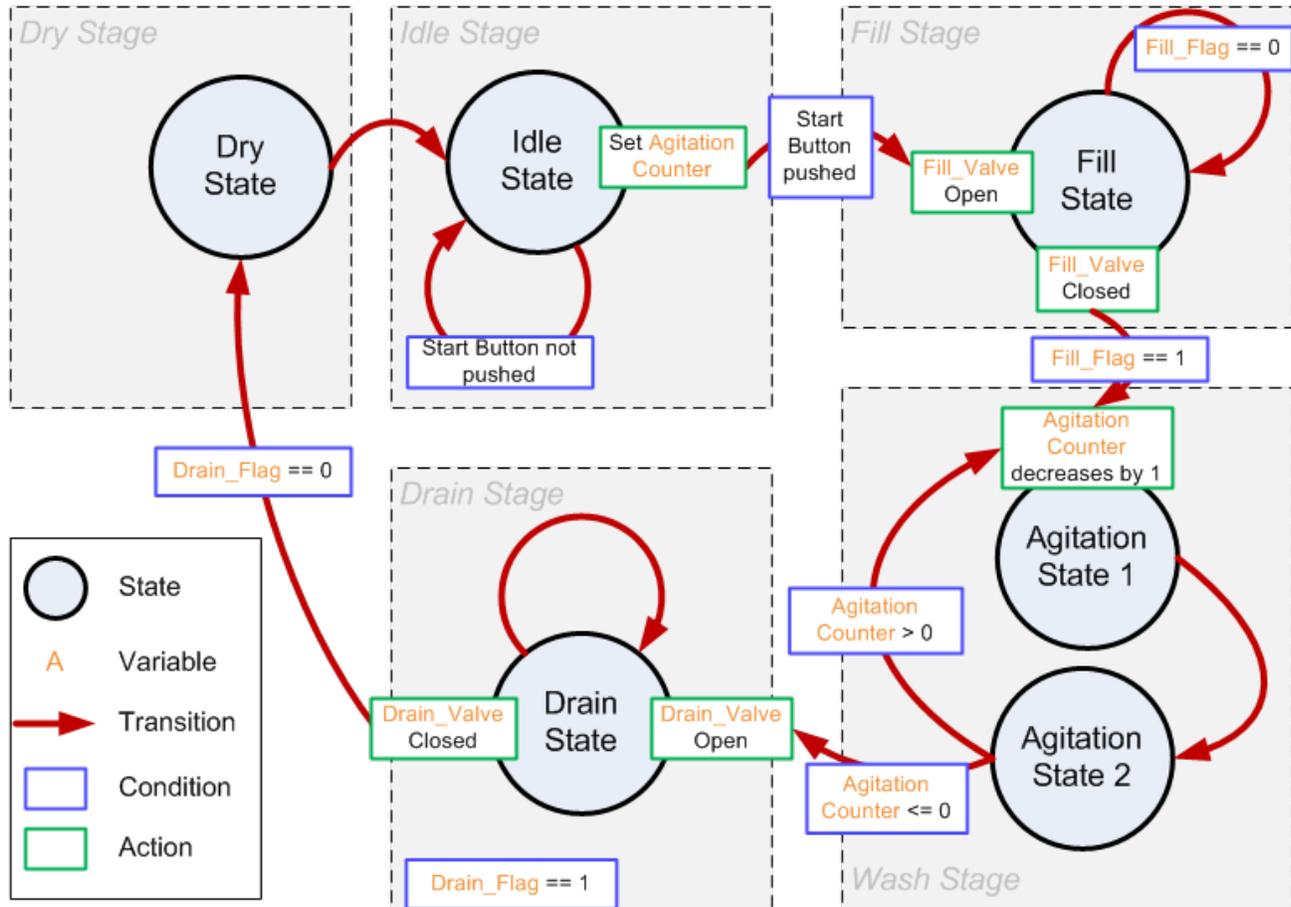


图 5. 针对一台洗衣机的状态转换图

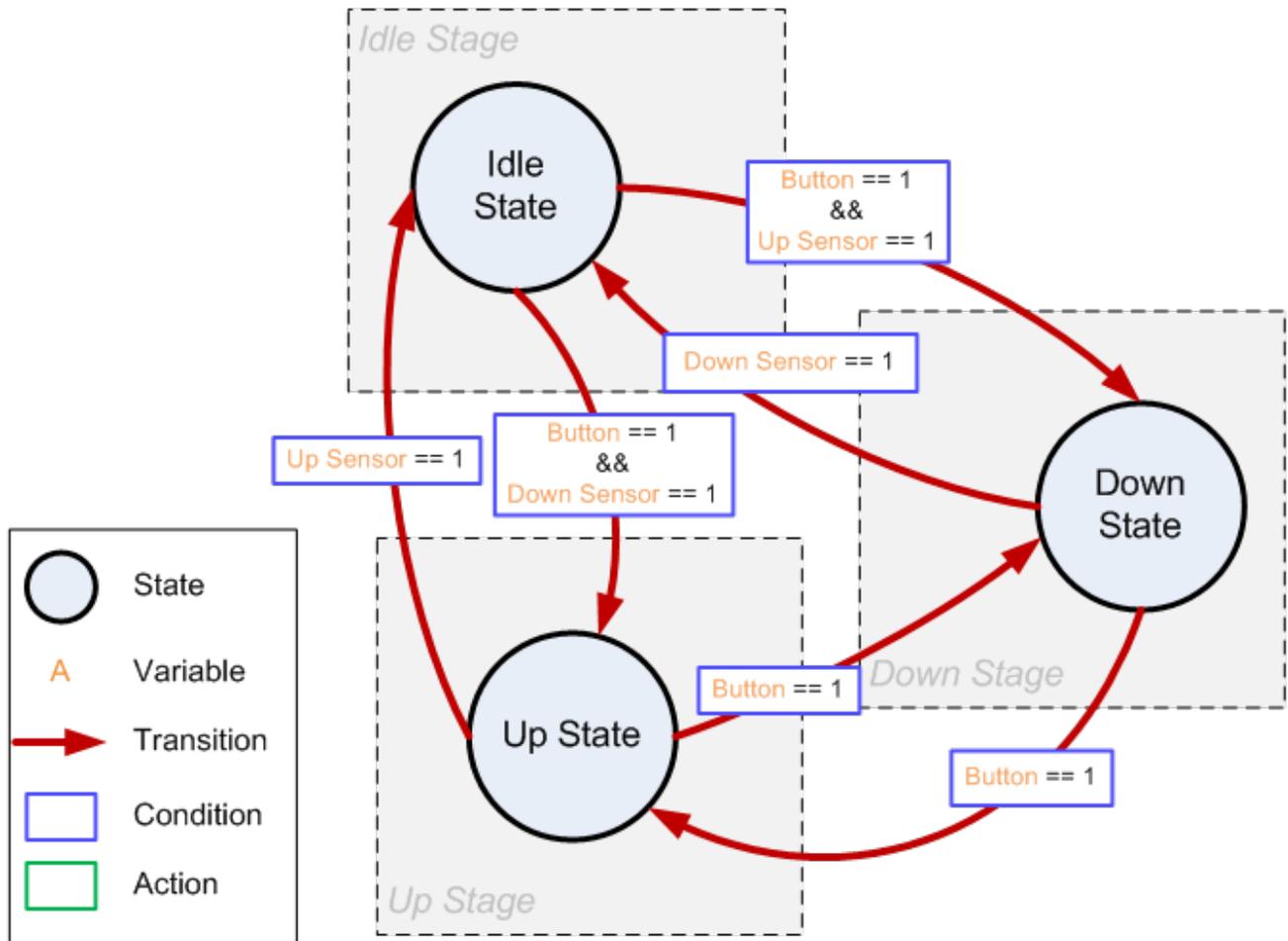


图 6. 针对一扇车库门系统的状态转换图

### 2.3 额外 InstaSPIN-MOTION 特性

- 支持用户调节选项的自动转矩（电流）环路调整
- 自动或手动场强减弱和场强增强。
- 总线电压补偿。
- 自动偏移补偿确保了反馈信号的高质量采样。

### 3 InstaSPIN-MOTION 方框图

InstaSPIN-MOTION 采用模块化设计。客户可确定他们系统中所包含的函数。FAST 观测器驻留在 ROM 中。SpinTAC 库的核心控制算法驻留在 ROM 中，而这些函数可由用户代码中的应用程序接口 (API) 访问。

InstaSPIN-MOTION 支持大量的系统设计。InstaSPIN-MOTION 将 FAST 软件编码器用于无传感器 FOC 系统 [要获得额外信息，请参见《TMS320F2806xF InstaSPIN™-FOC 软件技术参考手册》(文献编号: SPRUHI9)]。InstaSPIN-MOTION 还支持利用机械传感器的解决方案 (例如，编码器和解算器)。这些情况说明如下。

图 7，图 8，图 9，和图 10 中的变量定义如下：

- $\theta_{\text{Dep}}$ : 编码器的位置角信号
- $\theta_{\text{SP}}$ : SpinTAC 位置移动生成的锯齿位置基准信号
- $\omega_{\text{lim}}$ : 速度限值 (用于位置系统配置生成)
- $\dot{\omega}_{\text{lim}}$ : 加速度限制
- $\ddot{\omega}_{\text{lim}}$ : 急动限制
- $\omega_{\text{Ref}}$ : 速度基准
- $\dot{\omega}_{\text{Ref}}$ : 加速度基准
- $\tau_r$ : 电机时间常量

#### 情况 1: 借助 FAST 软件编码器的 InstaSPIN-MOTION 速度控制

在这个情况下 (请见图 7 和图 8)，SpinTAC 速度控制接收来自 FAST 估算器的速度估计值，并且生成转矩基准信号。这与用户存储器中 (请见图 7) 或 ROM (请见图 8) 中的 InstaSPIN-FOC 一起工作。SpinTAC 机械运动控制套件提供运动序列状态机，生成基准轨迹并且控制系统速度。

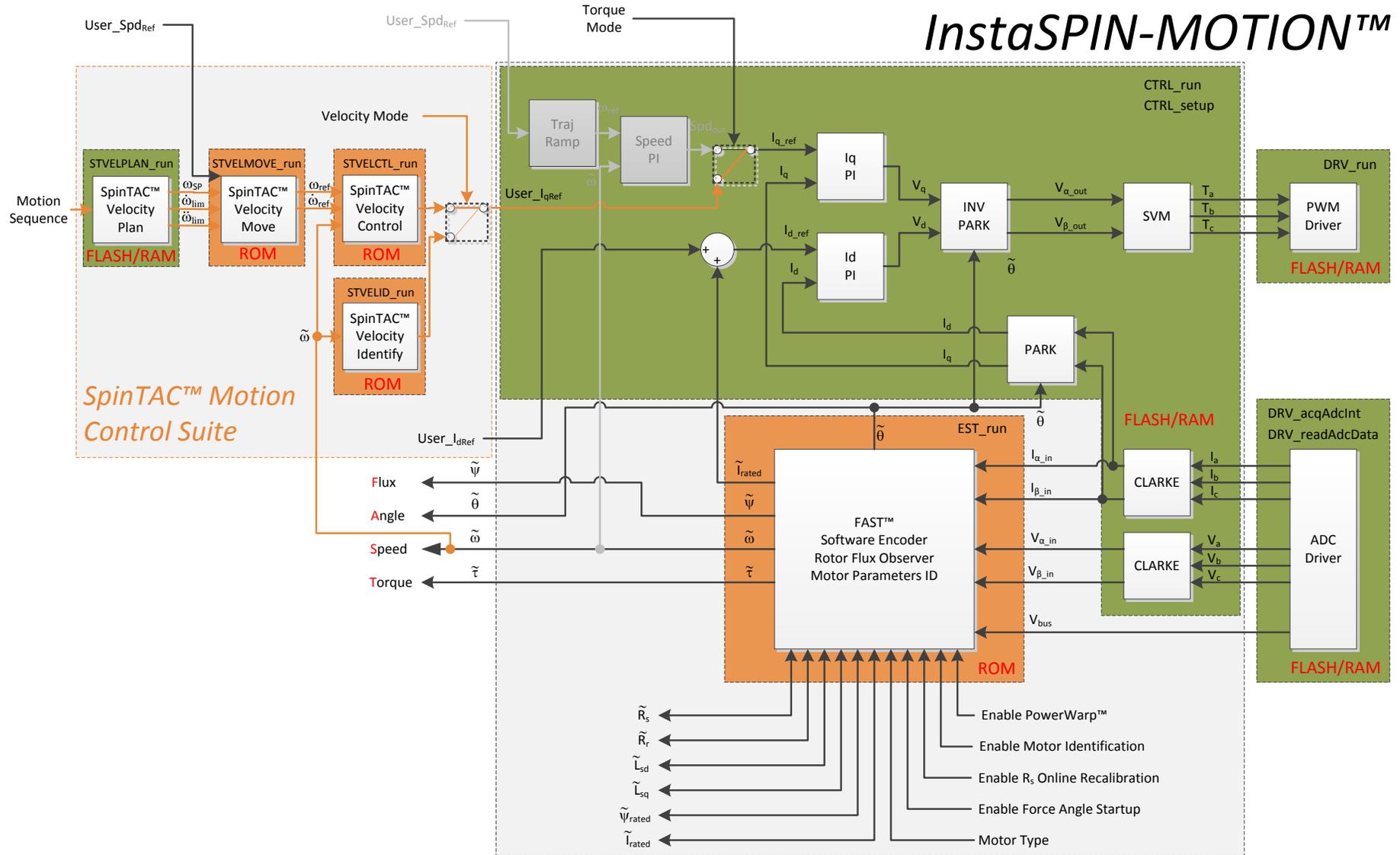


图 7. 除了 ROM 中的 FAST 和 SpinTAC，用户内存中的 InstaSPIN-MOTION

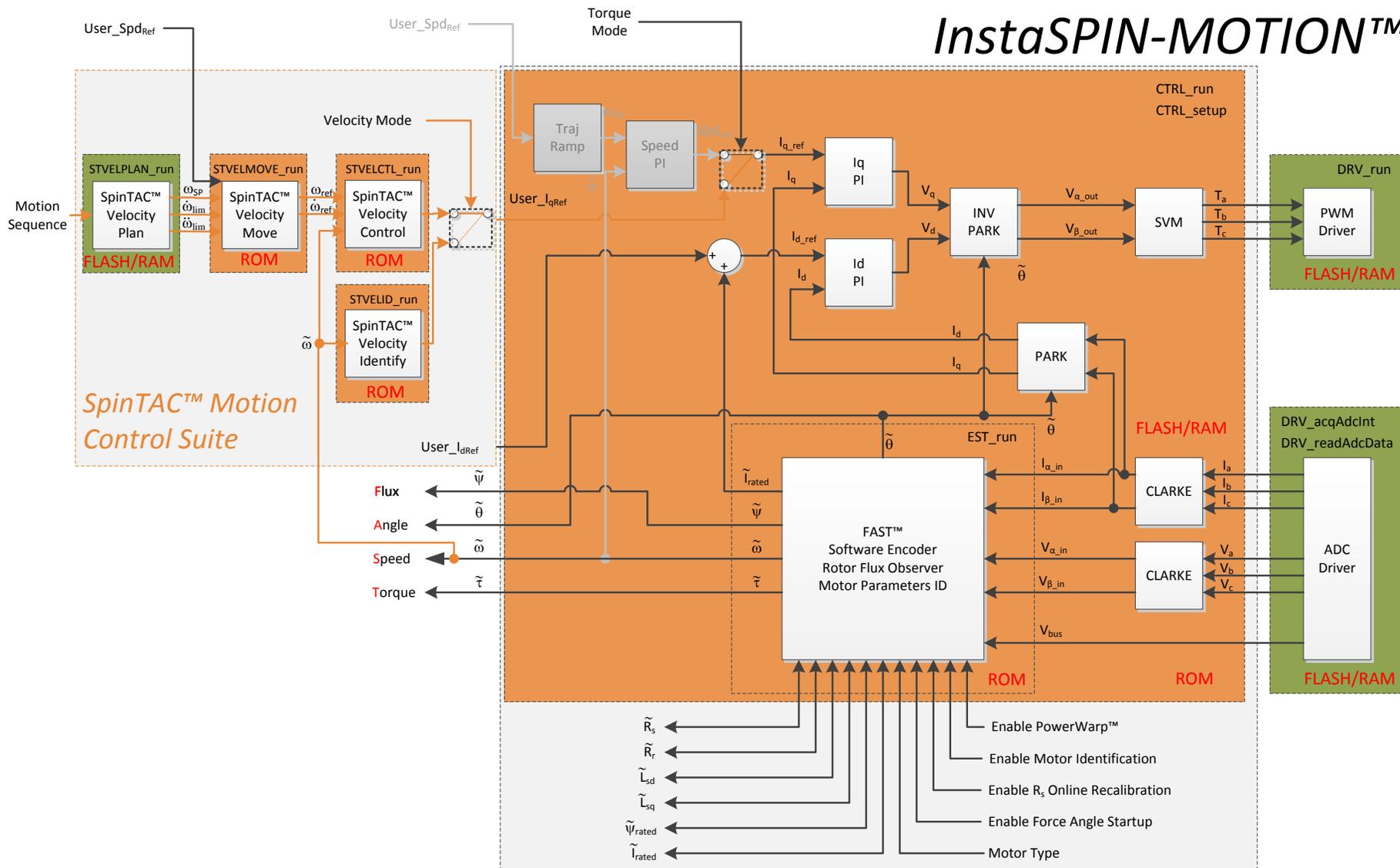


图 8. ROM 中的 InstaSPIN-MOTION

## 情况 2: 借助机械传感器的 InstaSPIN-MOTION 速度控制

虽然它对于很多应用来说极具吸引力且划算的无传感器解决方案，有很多应用需要严格且高精度的机械传感器。对于这些应用来说（请见 [图 9](#)），正交编码器提供位置信息，此位置信息然后通过 SpinTAC 位置转换被转化为速度反馈。SpinTAC 速度控制接收速度反馈，并且通过 IqRef 生成转矩基准信号。SpinTAC 运动控制套件提供机械运动序列状态机，生成基准轨迹，并且控制系统速度。

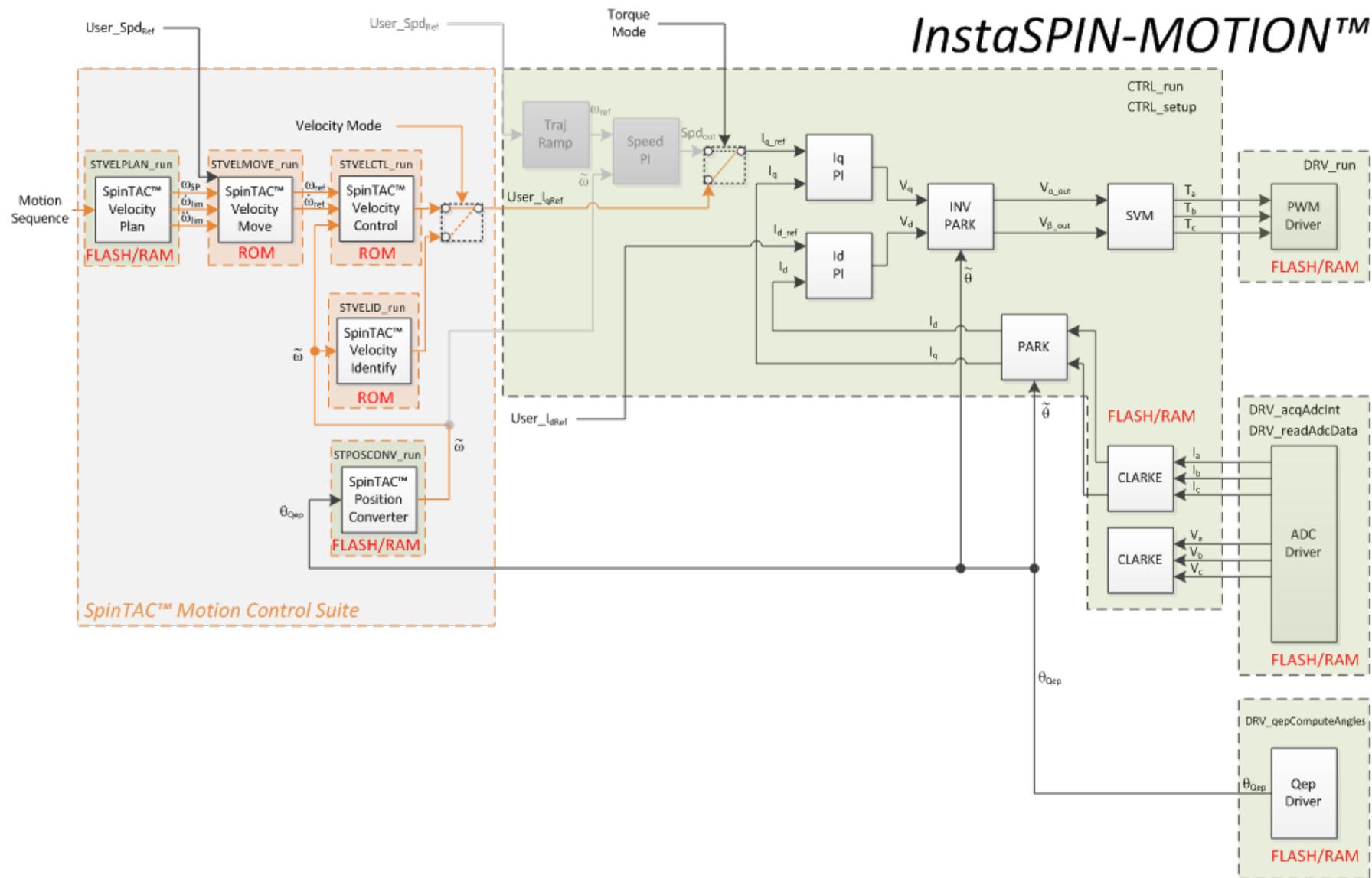


图 9. 使用机械传感器进行的 InstaSPIN-MOTION 速度控制

**情况 3：使用机械传感器和冗余 FAST 软件传感器进行的 InstaSPIN-MOTION 位置控制**

有很多需要高精度位置控制的应用。对于这些应用，很难去平衡很多所需的调整参数。InstaSPIN-MOTION 特有支持位置和速度单变量组合调节的准确位置、速度和转矩控制（请见 [图 10](#)）。这一特性简化了调整工作，并且使您能够专注于您的应用，而不是将精力放在电机调整方面。位置应用需要一个机械传感器，以便准确识别零速和极低速时的电机角度。FAST 软件编码器可在位置控制应用中提供冗余；这可在机械编码器故障情况下被用作安全特性。

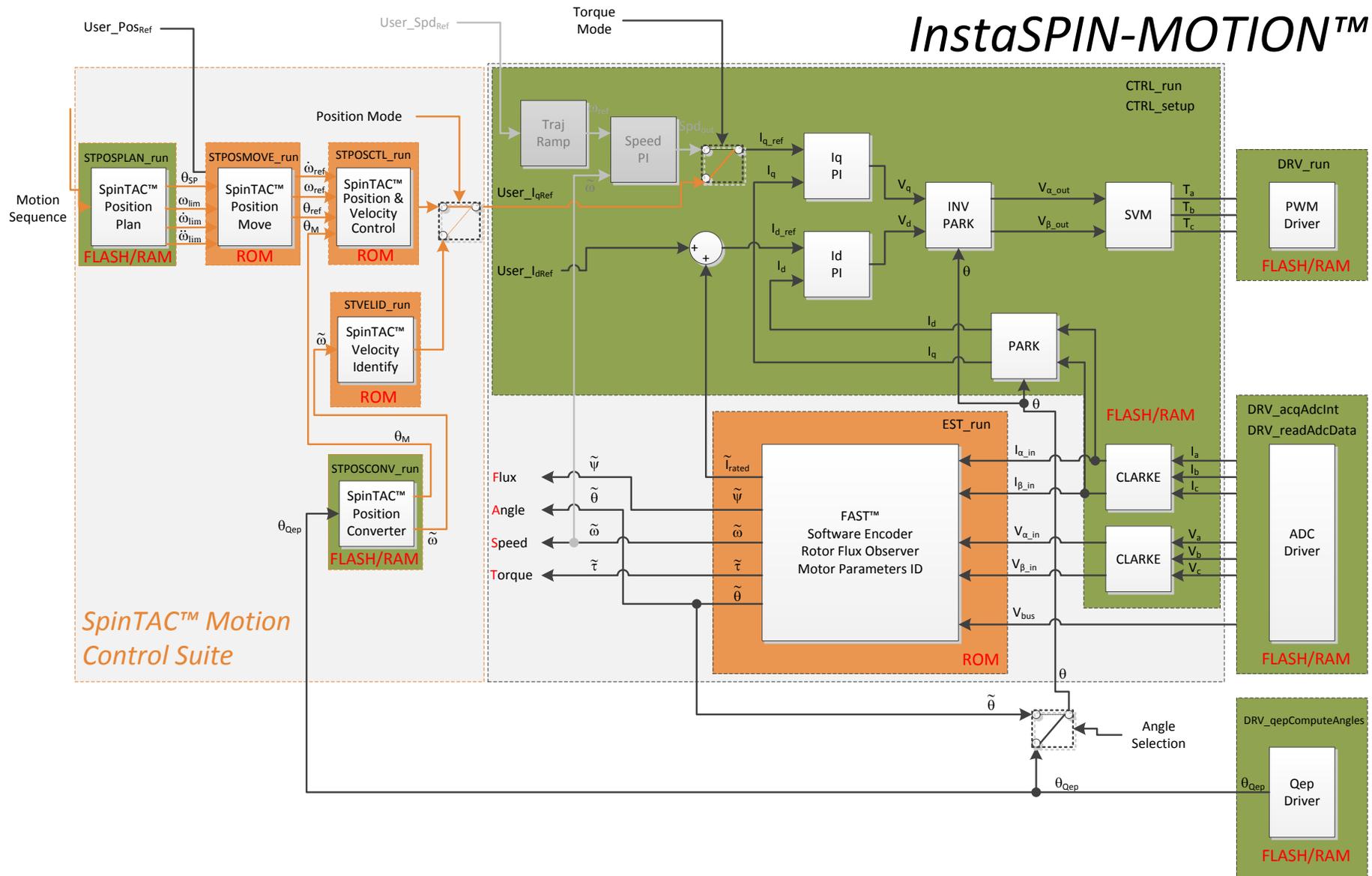


图 10. 机械传感器和冗余 FAST 软件传感器进行的 InstaSPIN-MOTION 位置控制

## 4 应用示例

InstaSPIN-MOTION 十分适合于需要精确的速度和位置控制以及最小干扰的应用，以及要进行多状态变换或经历动态变化的应用。以下章节中提供的几个示例。

### 4.1 跑步机传送带：不同速度和负载下的平滑运动。

持续速度控制对于跑步机传送带十分关键。当一个人在跑步机上奔跑时，他们跨步动作干扰了传送带的运动。如果驱动传送带的电机不能快速提供足够的转矩来克服干扰，那么跑步者的跨步动作将被打断。这个问题在用户将变速运动作为他们锻炼方式的一部分时加剧。如果传送带无法平滑加速或减速，那么看起来就好像跑步机无法正常工作。此外，低速时，当用户在传送带上行走时，他们的体重会使得传送带停止。

InstaSPIN-MOTION 被应用于使用 4HP, 220V 交流感应电机的商用跑步机，以驱动传送带。此跑步机已在一个变速范围内进行测试：最低 42rpm 到最高速 3300rpm。

客户会发现，InstaSPIN-MOTION 的高级控制器自动对干扰进行补偿，从而在跑动和速度变化情况下保持速度一致。低速时，此控制器防止传送带在负载施加时停止。此外，一个单个增益被用来控制整个工作范围。

### 4.2 视频摄像机：低速时平滑运动和位置准确度

高端安保和会议室摄像机以极低速运转（例如，0.1rpm），并且需要准确且平滑的位置控制来转动，倾斜和缩放。很难在低速时对驱动这些摄像机的电机进行调节，并且他们通常需要最少四个调整集。此外，启动时会有跳动，这会导致抖动或未聚焦画面。

InstaSPIN-MOTION 被应用于由具有磁编码器的 2 极 BLDC 电机驱动的高精度安保摄像机。InstaSPIN-MOTION 能够使用一个在整个工作范围内都有效的单一调整参数来控制速度和位置。SpinTAC Move 被用来控制电机急动，从而获得平滑启动。

### 4.3 洗衣机：低速时的平滑运动和位置准确度

周期变换、负载变化和干扰会导致严重的电机磨损。自动、实时的干扰减少能够延长电机的使用寿命和性能。

例如，让我们看一看洗衣机。图 11 显示针对一个标准洗衣机三个阶段的机械运动系统配置。第一阶段代表搅动周期，在 250rpm 到 -250rpm 之间重复旋转。第二和第三阶段代表两个不同的旋转周期。第二阶段的旋转速度为 500rpm，而第三阶段旋转速度为 2000rpm。已使用 SpinTAC Plan 轻松创建这个系统配置 [ 如《TMS320F2802xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xM InstaSPIN-MOTION 用户指南》中所述（[文献编号：SPRUHJ1](#)）]。

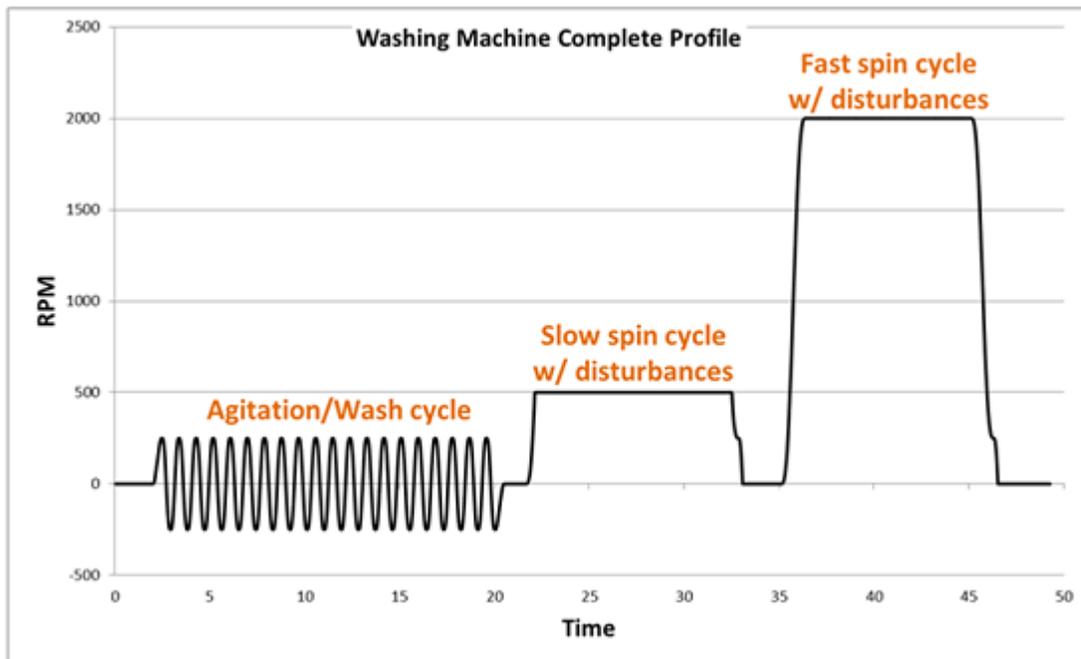


图 11. 洗衣机系统配置

InstaSPIN-MOTION 被施加到一个洗衣机应用中。SpinTAC Plan 轨迹规划特性被用来快速建立不同的运动状态（速度 A 至速度 B），并且将他们与基于状态的逻辑电路关联起来（请见 图 5）。

洗衣机应用运行了两次 - 一次使用一个标准 PI 控制器，一次使用 LineStream 公司的 SpinTAC 控制器。然后，在比较参考曲线上标出数据位置。

#### 搅动周期

搅动期间，电机在 250rpm 和 -250rpm 设定点之间切换 20 次。图 12 中的结果表示 InstaSPIN-MOTION 更加符合基准系统配置。此外，PI 的最大误差为 91rpm ( $341 - 250 = 91\text{rpm}$ )；反之，SpinTAC 的最大误差为 30rpm ( $280 - 250 = 30\text{rpm}$ )。

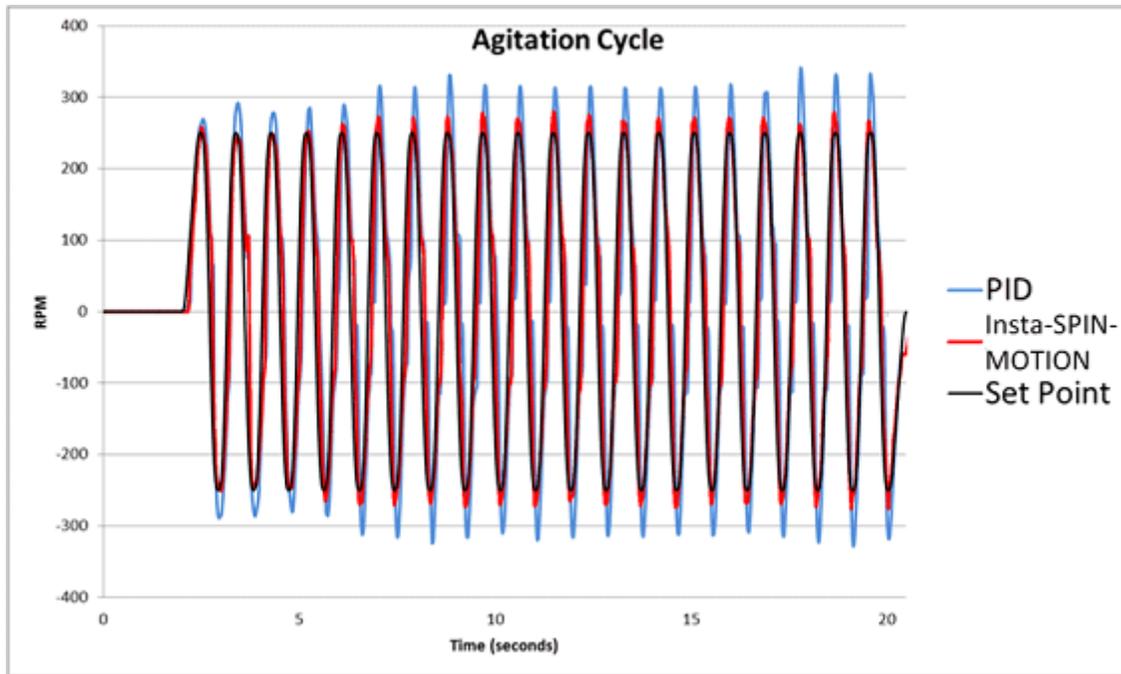


图 12. InstaSPIN-MOTION 最大限度地减少误差

### 旋转周期

对于第一个旋转周期，目标是保持 500rpm，即使当干扰被引入时也是如此。图 13 表明，相对于 PI 控制器，InstaSPIN-MOTION 从干扰中恢复得更快，并且振荡较少。此外，当它尝试达到初始 500rpm 设定点时，InstaSPIN-MOTION 不会受到 PI 控制器所表现出的过冲和下冲的影响。

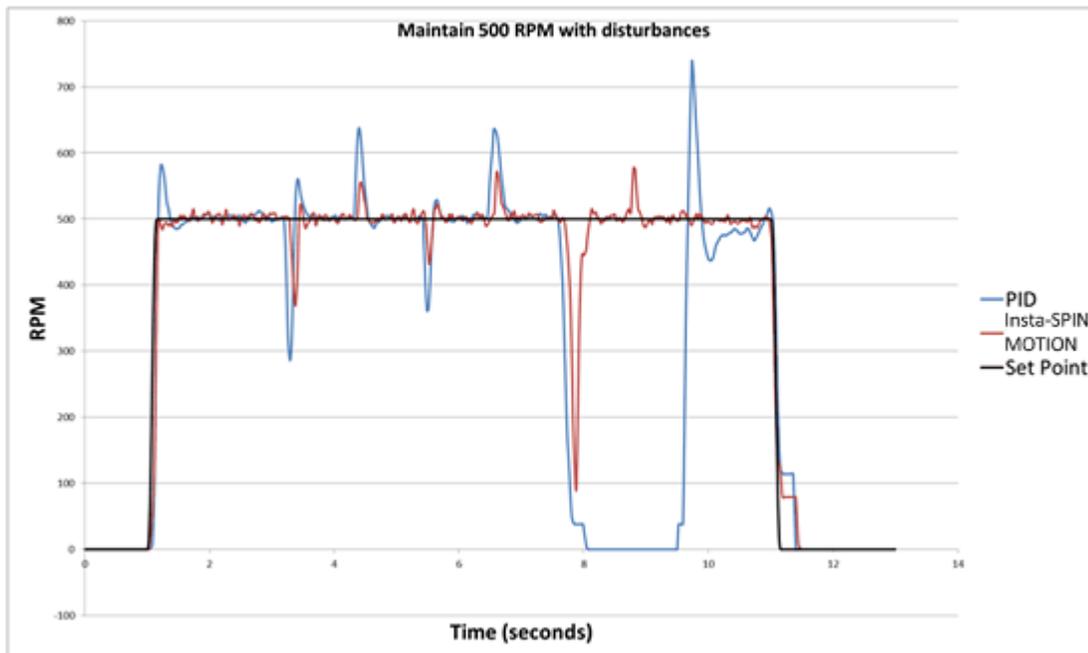


图 13. 第一个旋转周期 - 500rpm

第二个旋转周期期间，如 图 14 中所示，相对于 PI 控制器，SpinTAC 控制器在 2000rpm 时以更快的速度从干扰中恢复，并且振荡更少。请注意，当它尝试达到初始 2000rpm 设定点时，InstaSPIN-MOTION 不会受到 PI 控制器所表现出的过冲和下冲的影响。

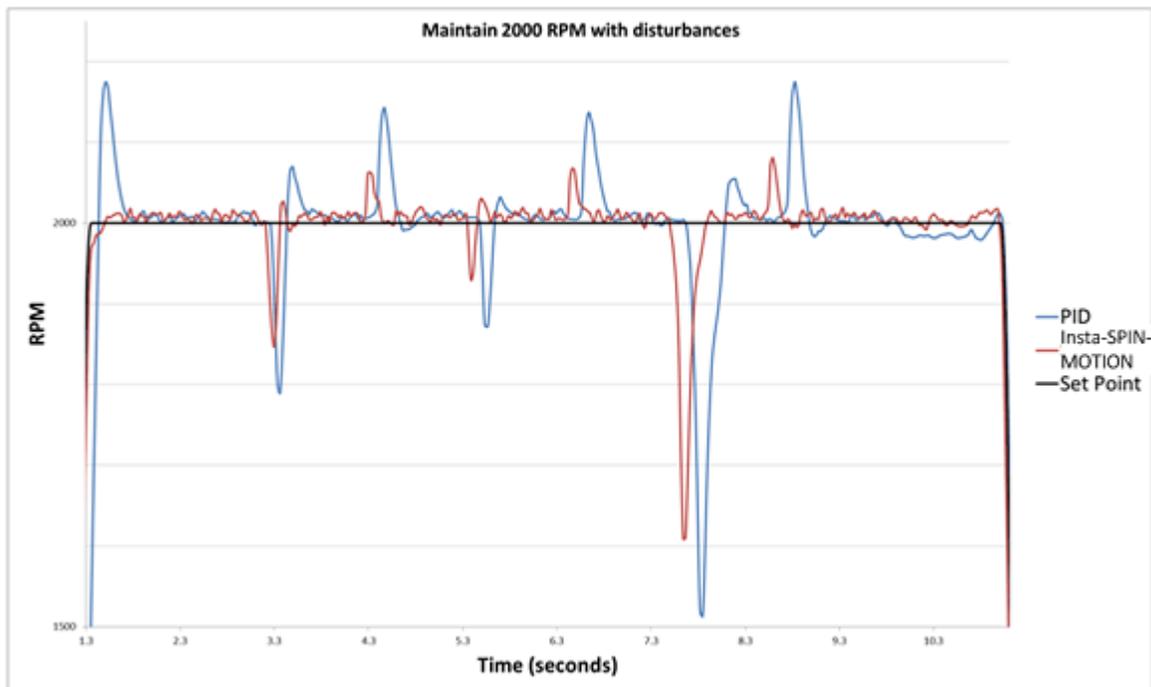


图 14. 第二旋转周期 - 2000rpm

此外，PI 控制器不能从 9.75 秒标记的斜坡干扰中恢复。相反地，它表现出一个大约为 20rpm 的稳定状态误差。

#### 4.4 InstaSPIN-MOTION 在整个工作范围内的运行

在执行洗衣机应用前，InstaSPIN-MOTION 控制器和 PI 控制器被调整一次。从上面所示的示例中可得知，InstaSPIN-MOTION 的调整在整个工作范围内起作用。不论电机是在 250rpm 到 -250rpm 间切换，或者是保持在 500rpm 或 2000rpm 旋转周期上，都不需要新的调整集。

## 5 InstaSPIN-MOTION 替代需要对参数不断进行调整的 PID 控制器

大型原始设备制造商 (OEM) 可以与外部设计公司一起工作，以优化他们的调整参数。然而，很多中小型 OEM 在调整他们自己的 PI 控制时也会遇到问题。借助于 InstaSPIN-MOTION，OEM 能够节省几周的调整时间。

虽然 PI 控制是多用途的，并且适用于很多控制系统，然而调整过程会是复杂且耗时的。相似地，PI 环路的性能在宽工作范围和系统随时间发生动态变化时无法预知。虽然高级控制技术的使用，诸如基于模型的补偿，能够解决这些问题，但是他们需要大量的执行和测试时间。他们也增加了系统复杂度，并且会在系统运动发生变化时导致性能下降。

InstaSPIN-MOTION 通过替换传统 PI 控制来解决这些问题。表 2 中突出显示了这些优势。InstaSPIN-MOTION 组合了高级控制特性，诸如前馈，一个观测器，并且可在调整 PI 控制所需时间的一小部分时间内完成调整。除了必须调整多个控制参数，可通过调整一个针对位置和速度的单个参数来调整 SpinTAC 控制器。一旦被调整，它在宽工作范围内运行。

**表 2. PI 与 InstaSPIN-MOTION 间的关系**

主题	PI 控制器	InstaSPIN-MOTION
性能	无法预测	补偿
调整参数	多个	单个
调整过程	复杂	简单 - 识别过程花费几分钟
启动	困难 - 要求控制专业知识	简单 - 三步内完成
干扰恢复	干扰被引入且在转换期间的过冲和下冲	高级抗扰将设定点保持得更加接近
进行中的维护	需要重新调整	无

InstaSPIN-MOTION 被设计成在所有类型的系统中执行。在不受外部影响的系统中，InstaSPIN-MOTION 控制器通过消除转换期间的过冲和下冲来证明其性能优势。

在受到外部干扰影响的系统中，如图 15 和图 16 中所示，InstaSPIN-MOTION 控制器提供高级抗扰，从而将可由标准 PI 控制实现的设定点保持得更加接近。

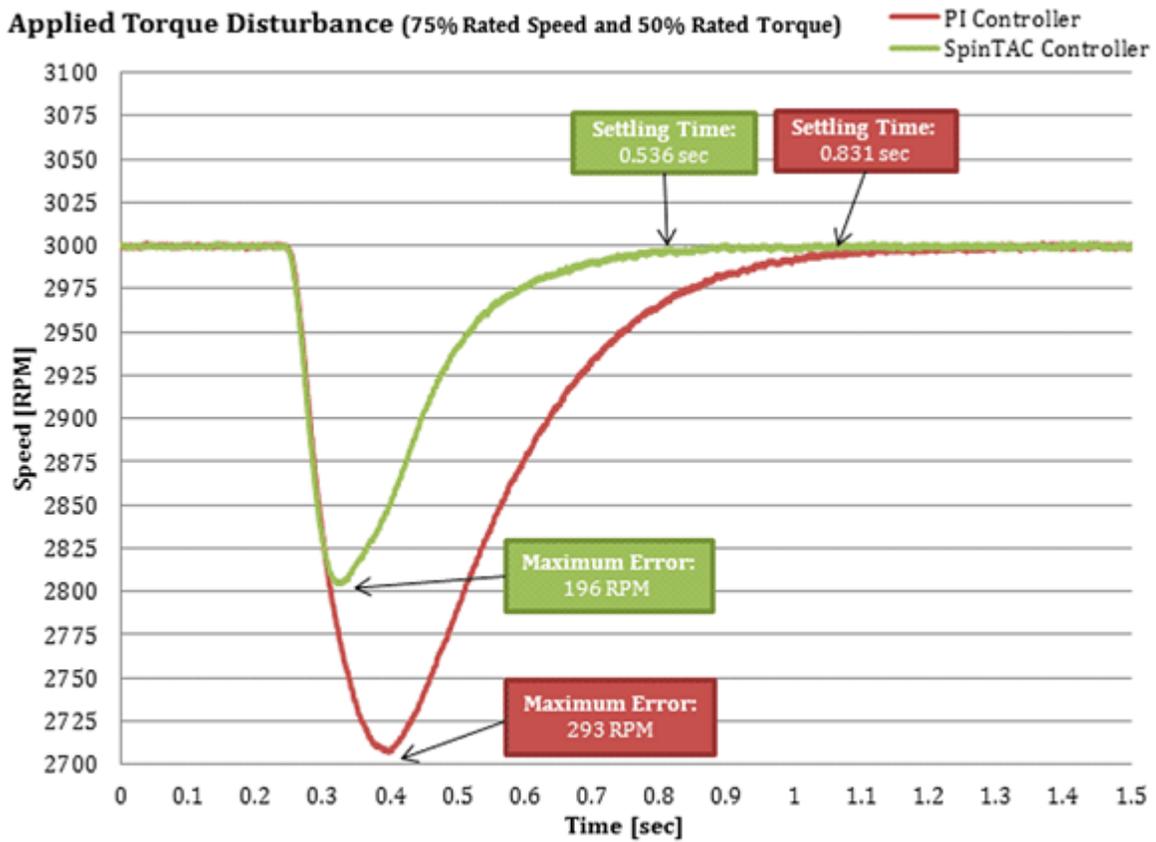


图 15. 施加转矩干扰比较

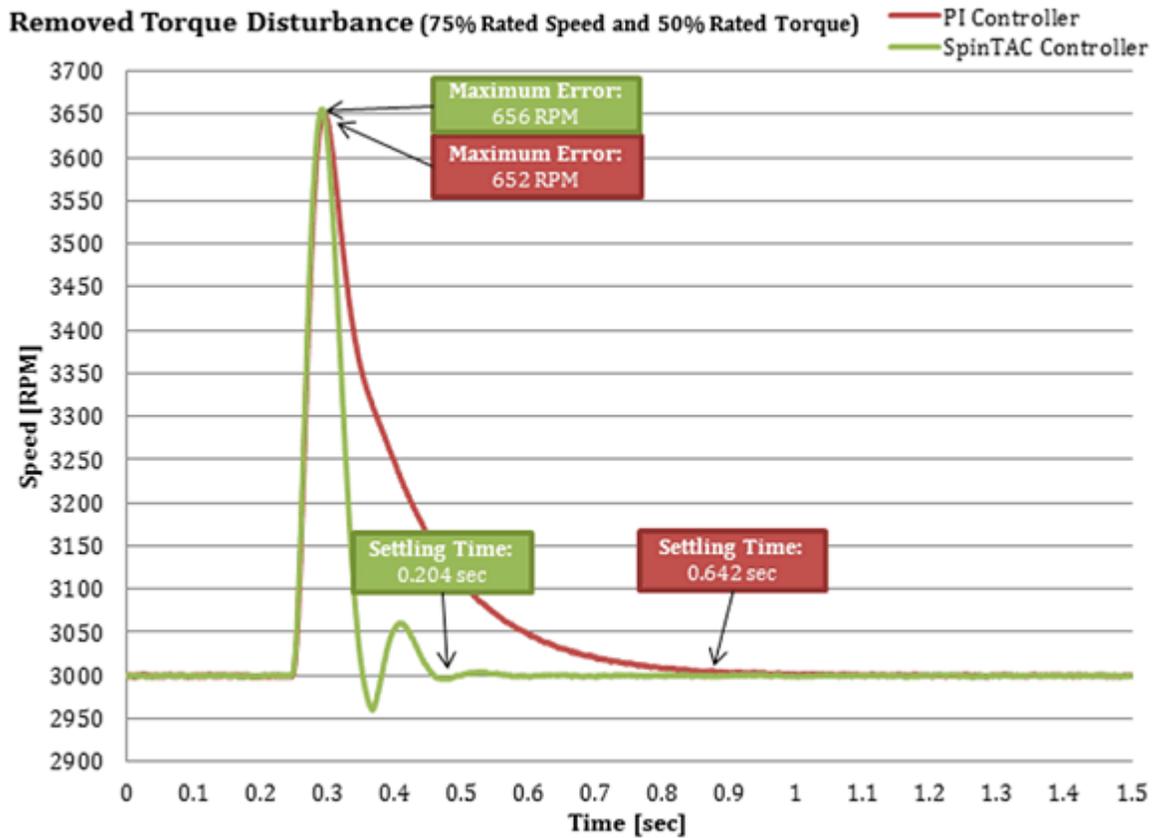


图 16. 移除转矩干扰比较

## 6 评估 InstaSPIN-MOTION 性能

从您的机械运动系统中获得最佳性能是十分重要的。未经良好调节的稳压器会导致能源浪费、材料浪费，或者使系统不稳定。为了确定控制器在您的应用中工作状态如何，有必要在很多不同的速度和负载工作点上评估速度和位置控制器性能。

可根据很多不同的因素对速度和位置控制器进行比较。然而，两个衡量标准 - 抗扰和系统配置跟踪 - 可被用来测试性能，并且确定您的控制器对于您的应用被调整的如何。

### 试验台说明

使用以下设备来执行测试：

- 具有 InstaSPIN-MOTION 版本 1.6 的 TMS320F28069M 控制卡
- 德州仪器 (TI) Code Composer Studio 版本 5.3
- 德州仪器 (TI) 逆变器：
  - DRV8301-69M-KIT
  - TMDSHVMTRPFCKit 版本 1.1
- 电机：
  - Teknic M2310P
  - Estun EMJ-04APB22
- 测力计
  - Magtrol HD-715 测力计
  - Magtrol DSP7001 控制器
  - Magtrol 6510e 功率分析仪
  - 直流电源

### 6.1 速度控制性能：SpinTAC 与 PI 相比较

对于速度控制，我们已比较了 SpinTAC 控制器与 PI 控制器的性能。每个控制器可使用同一种方法进行调整。

对于 Estun 电机，通过在电机以 100% 额定速度 (3000rpm) 运转的同时，注入 25% 额定转矩 (45 oz-in) 干扰来用实验的方法调整这些控制器。这导致以下增益：

- PI 速度控制器
  - $K_p = 20$
  - $K_i = 0.098$
- SpinTAC 速度控制器
  - 带宽 = 35 弧度每秒

用与电机耦合的达因数估算 SpinTAC 速度控制器所使用的惯性。发现这个值为 0.483 A / (krpm/s)。

对于 Teknic 电机，通过在电机以 50% 额定速度 (2000rpm) 运转的同时，注入 50% 额定转矩 (19.4 oz-in) 干扰来用实验的方法调整这些控制器。这导致了以下增益：

- PI 速度控制器
  - $K_p = 9$
  - $K_i = 0.03$

- SpinTAC 速度控制器
  - 带宽 = 16 弧度每秒

用与电机耦合的达因数估算 SpinTAC 速度控制器所使用的惯性。发现这个值为 4.23 A / (krpm/s)。

这些确定的增益在所有测试过程中保持恒定。这样做是为了突出显示 SpinTAC 速度控制器的宽工作范围。

### 6.1.1 抗扰

抗扰测试控制器对影响电机速度的外部干扰的补偿能力。在抗扰测试中，在系统上施加一个负载转矩，保持一个较短时间，然后从系统中移除。图 17 是一个抗扰测试的示例。使用最大速度误差和稳定时间来测量控制器响应。最大速度误差显示从目标速度的偏离，并且表示出对您的控制器进行调整的积极程度。积极调整产生一个低最大误差。在图 17 中，PI 控制器表现出大于 SpinTAC 控制器的最大速度误差，这表示 SpinTAC 控制器在对系统误差进行补充时响应更快。

## Disturbance Rejection Test (50% Rated Speed and 50% Rated Torque)

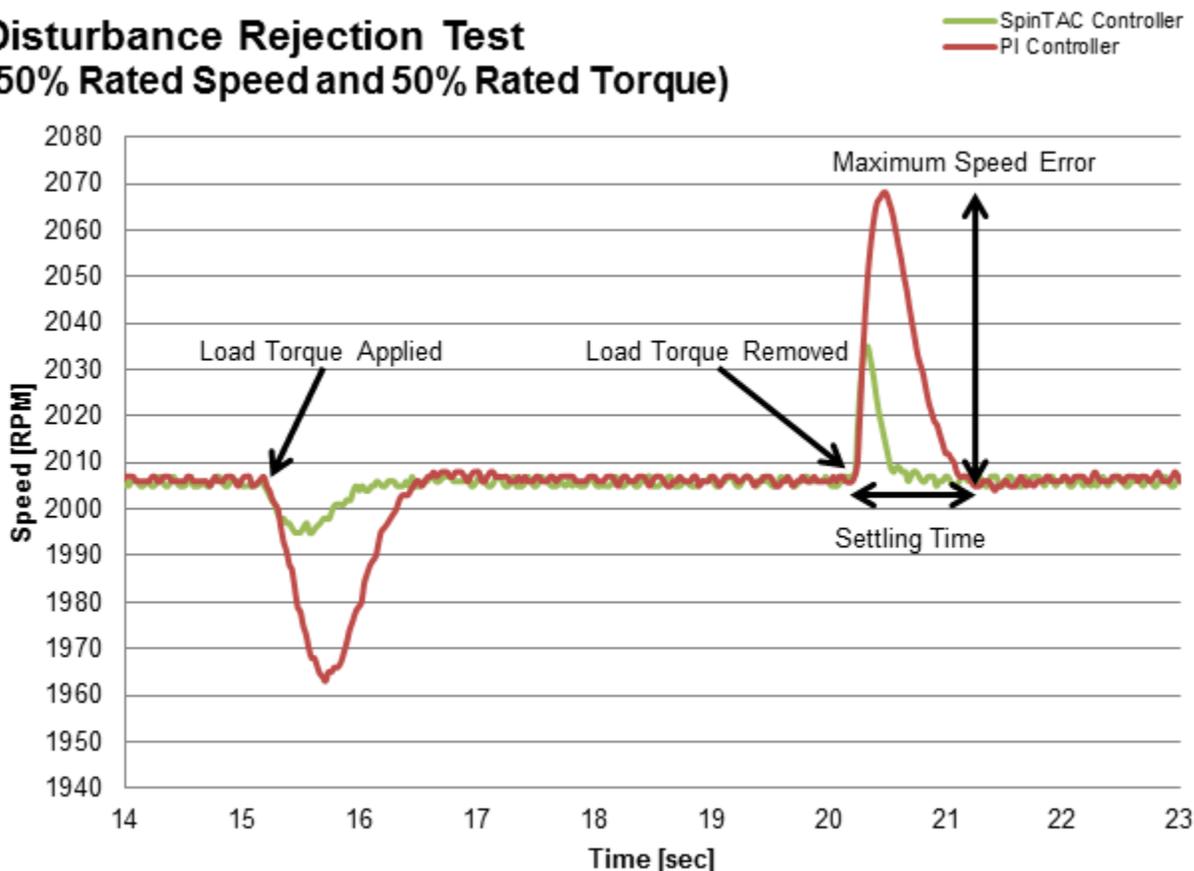


图 17. 最大速度误差和稳定时间的抗扰测试

稳定时间是指从干扰发生的时间点到速度返回至一个目标速度附近的固定范围内所需要的时间。这也表示出您的控制环路调整的积极程度。如果控制器的调整过于积极，控制器的稳定时间将会比较长，这是因为控制器将在稳定前在目标速度附近振荡。在图 17 中，PI 控制器的稳定时间要长于 SpinTAC 控制器的稳定时间。请注意，由于这两个控制器稳定返回至目标速度，所以两个控制器的振荡都很小。

当在系统上施加负载，并且当把负载从系统中移除时，稳定时间会有所不同。当一个负载被施加到电机上时，控制器会达到饱和，在这个饱和点上，控制器的输出受到限制。然而，当负载被移除时，电机从负载状态转换为零负载。稳定时间和过冲完全取决于控制器。图 18 显示这个情况的一个示例，在这个示例中，控制器被置于饱和状态。

## Disturbance Rejection Test (100% Rated Speed and 50% Rated Torque)

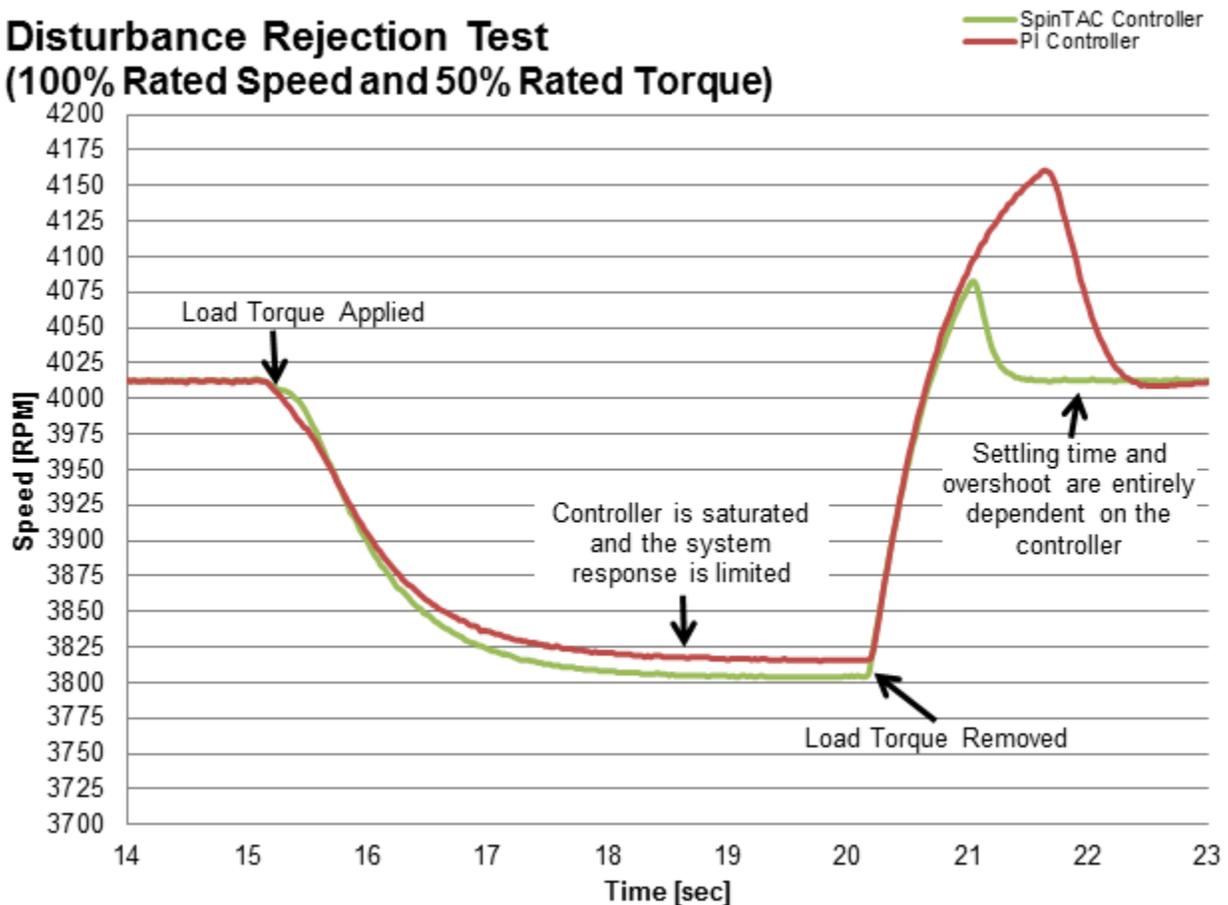


图 18. 控制器饱和时的抗扰测试

当被置于不同的饱和状态时，速度控制器具有不同的性能特点。为了完全地评估您速度控制器的效率，应该在整个应用范围内完成测试。这些测试结果表明此控制器是否符合应用技术规格的要求，或者是否需要针对不同的运行点进行多次调整。作为这些测试的一部分，为了测试宽范围运行，我们已经测试了 9 个速度和负载组合。

能够创建可重复的干扰也很重要。这一要求可通过使用一个测力计或扰动电机来实现。在评估多个控制器时，创建可重复干扰是一个重要因素。如果测试条件不能被复制，那么就很难充分地比较两个控制器的响应。

对于表 4 和表 3 中显示的测试结果，创建了干扰负载系统配置，将 25%，50% 和 100% 额定转矩施加到电机上。此测试比较了 SpinTAC 速度控制器与一个标准 PI 控制器的性能，并且针对每个控制器对以下参数进行了测量：

- 平均恢复时间（从干扰点直到目标速度的 2% 以内）：在负载被施加，以及负载从系统中移除时测量平均恢复时间。
- 绝对平均速度误差：系统干扰被引入时，距离目标速度的正偏离或负偏离。
- 最大速度误差：干扰被引入时，距离目标速度的最大偏离。

**表 3. SpinTAC 与 PI 抗扰测试结果比较（对于 Teknic 电机）**

	1000rpm			2000rpm			4000rpm		
	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)
<b>25% 额定转矩</b>									
平均恢复时间 (单位秒) - 负载被施加	1.34	1.84	27.34	1.20	1.67	28.27	0.85	1.79	52.46
平均恢复时间 (单位秒) - 负载被移除	0.43	0.93	53.29	0.41	0.89	53.55	0.54	1.02	46.82
绝对平均误差 (rpm)	3.06	4.16	26.44	5.98	6.63	9.74	12.23	12.42	1.53
平均最大误差 (rpm)	17	29	41.38	16	27	40.74	18	26	30.77
<b>50% 额定转矩</b>									
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	1.01	1.33	23.81	1.01	1.45	30.34	4.98	5.04	1.19
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.51	1.04	51.30	0.56	1.06	46.52	1.33	2.54	47.20
绝对平均误差 (rpm)	3.7	7.9	53.16	6.21	10.2	39.12	81.92	87.66	6.55
平均最大误差 (rpm)	36	71	49.30	35	69	49.28	197	185	-6.49
<b>100% 额定转矩</b>									
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.76	1.20	36.67	0.78	1.16	32.73	4.98	5.08	1.95
平均恢复时间 (单位秒) - 负载被移除	0.40	1.00	59.84	0.52	1.02	48.89	1.90	3.12	39.09
绝对平均误差 (rpm)	5.4	15.39	64.91	7.99	17.54	54.45	345.42	360.74	4.25
平均最大误差 (rpm)	87	158	44.94	80	151	47.02	829	837	0.96

表 4. SpinTAC 与 PI 抗扰测试结果比较 (对于 Estun 电机)

	750rpm			1500rpm			3000rpm		
	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)
<b>25% 额定转矩</b>									
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.69	1.52	54.34	0.60	1.36	57.96	0.60	1.35	52.87
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.42	1.12	61.75	0.40	1.03	61.58	0.41	1.01	59.01
绝对平均误差 (rpm)	1.97	3.81	48.13	3.05	5.25	41.90	6.16	9.08	32.12
平均最大误差 (rpm)	37	47	21.28	36	47	23.40	38	49	22.45
<b>50% 额定转矩</b>									
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.35	1.31	72.97	0.33	1.33	76.23	0.36	1.13	67.07
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.44	1.36	67.32	0.40	1.25	68.02	0.364	1.14	67.33
绝对平均误差 (rpm)	2.67	5.91	54.87	3.86	7.13	45.89	6.89	11.14	38.19
平均最大误差 (rpm)	76	96	20.83	74	95	22.11	76	97	21.65
<b>100% 额定转矩</b>									
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.56	2.26	75.09	0.5	2.14	76.68	4.98	5.06	1.58
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.38	1.16	66.78	0.4	0.92	55.93	0.44	0.74	40.60
绝对平均误差 (rpm)	8.64	57.98	85.09	9.54	59.95	84.09	94.25	103.74	9.15
平均最大误差 (rpm)	440	697	36.87	440	665	33.83	585	646	9.44

### 6.1.2 基准跟踪

基准跟踪测试控制器跟随变化的目标速度的程度。这个测试中评估的两个衡量标准是最大误差和绝对平均误差。最大速度误差显示速度变化时，控制器过冲的大小。这个值表示您控制器调整的积极程度。如果控制器的调整不够积极主动，速度将超过目标值，并且需要花费较长的时间恢复。如果控制器的调整过于积极主动，它将过冲，然后在稳定至目标速度时发生振荡。如果控制器被正确调整，它的过冲值最小，然后平稳返回至目标速度。

绝对平均误差是整个系统配置范围内瞬时速度误差绝对平均值。这个测量结果显示整个系统配置上的偏离量。它将电机运行时的全部小值误差考虑在内。如果控制器的调整过于积极，它将导致较大的绝对平均误差，这是因为由控制器将在整个系统配置内振荡振荡所造成的。如果控制器的调整不够积极，它将导致较大的绝对平均误差，这是因为它始终落后于系统配置对电机的指令操作。

创建一个跟踪系统配置，以一个重复模式来使用电机。此系统配置被用来比较 SpinTAC 和 PI 控制器的性能。此系统配置已包括快速转换以及逐渐全面转换。图 19 是基准跟踪测试期间所使用的速度系统配置的图表。图表的遮挡区域是详细显示 SpinTAC 和 PI 控制器之间不同的额外图表区域。

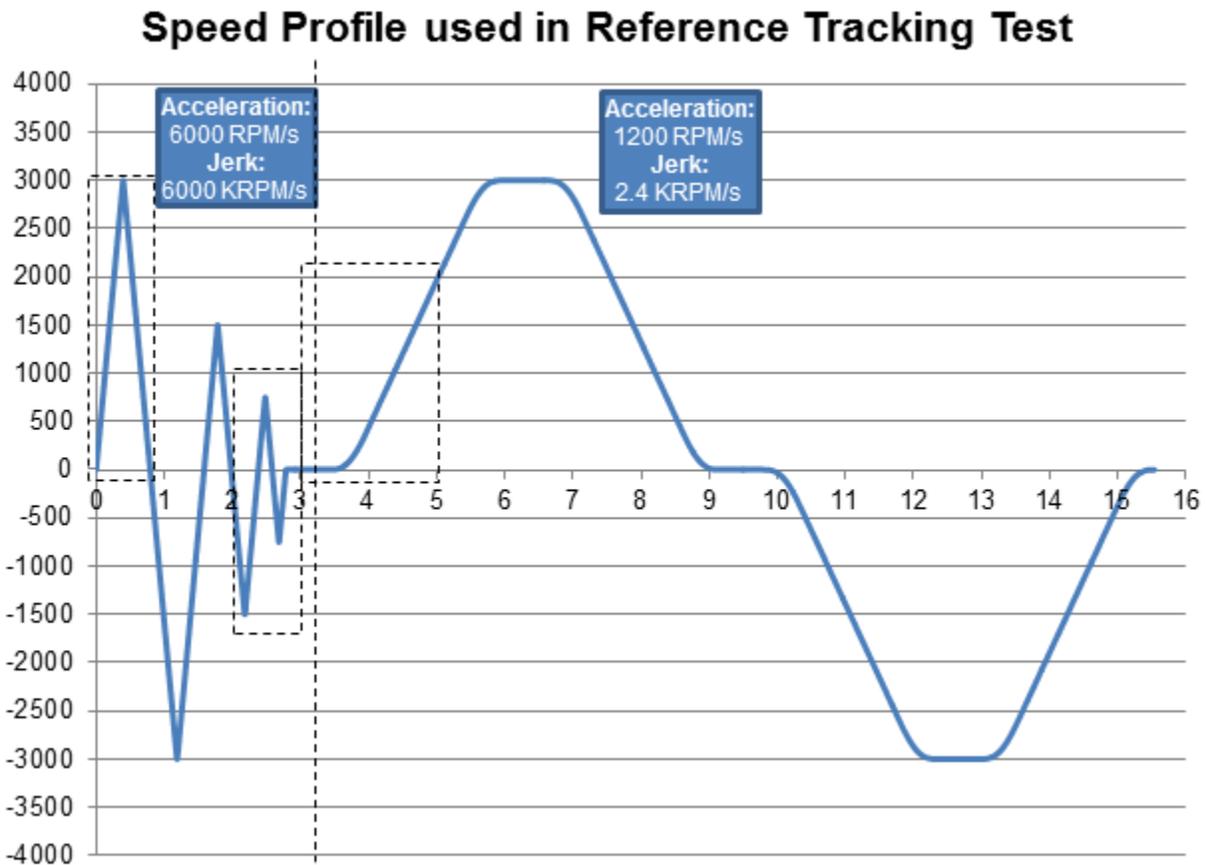


图 19. 基准跟踪测试期间使用的速度系统配置

除了系统配置跟踪的绝对平均误差和最大误差，应该突出显示并且评估 SpinTAC 和 PI 控制器的某些差异。图 20 显示在发生剧烈变化时，PI 控制器超过速度基准的程度。然后，它花费很长的时间从那个初始误差中恢复，而 SpinTAC 控制器在剧烈基准变化时不会出现问题。

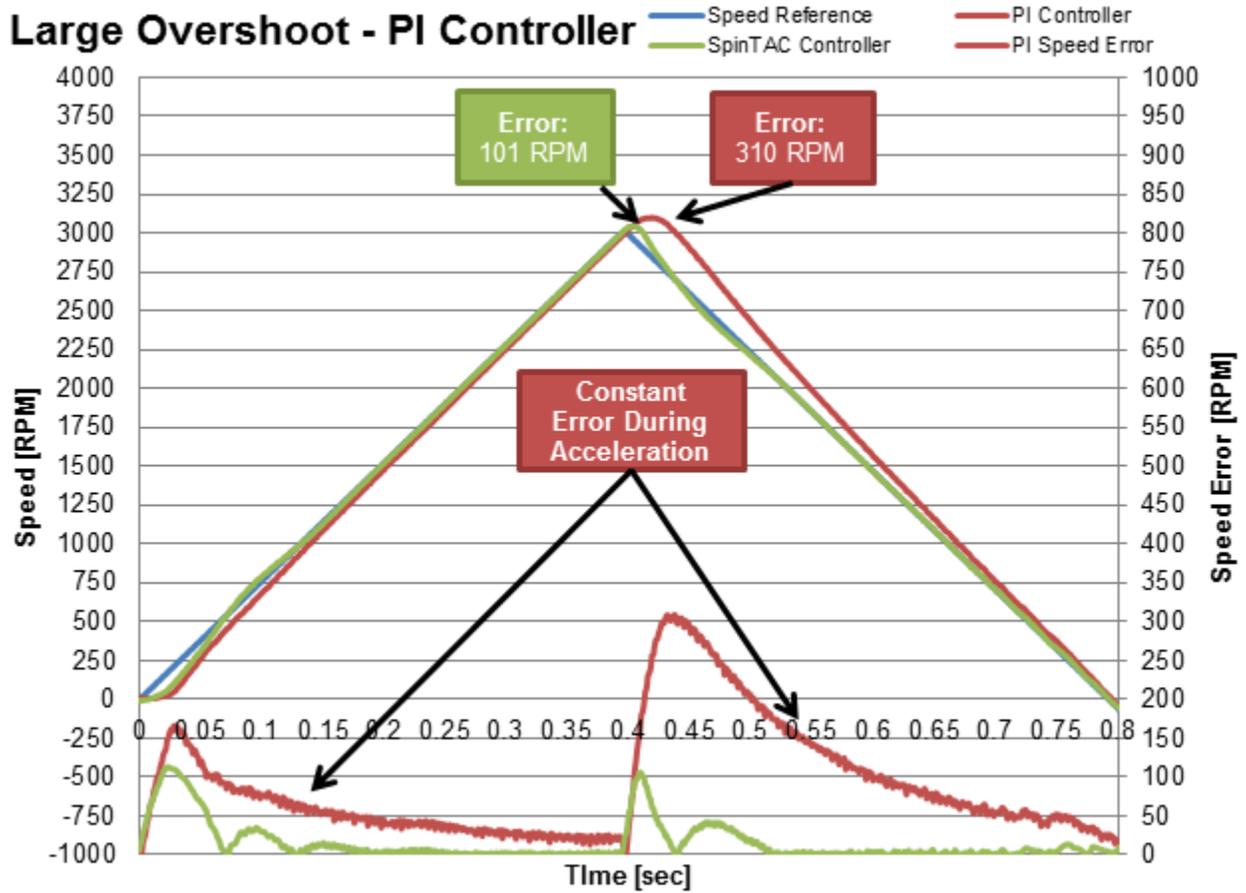


图 20. 基准跟踪期间针对 PI 控制器的较大过冲

图 21 显示在基准继续发生剧烈变化时，PI 控制器的落后于基准的程度。PI 控制器不能跟上速度基准，而 SpinTAC 控制器在准确跟踪速度基准时没有问题。

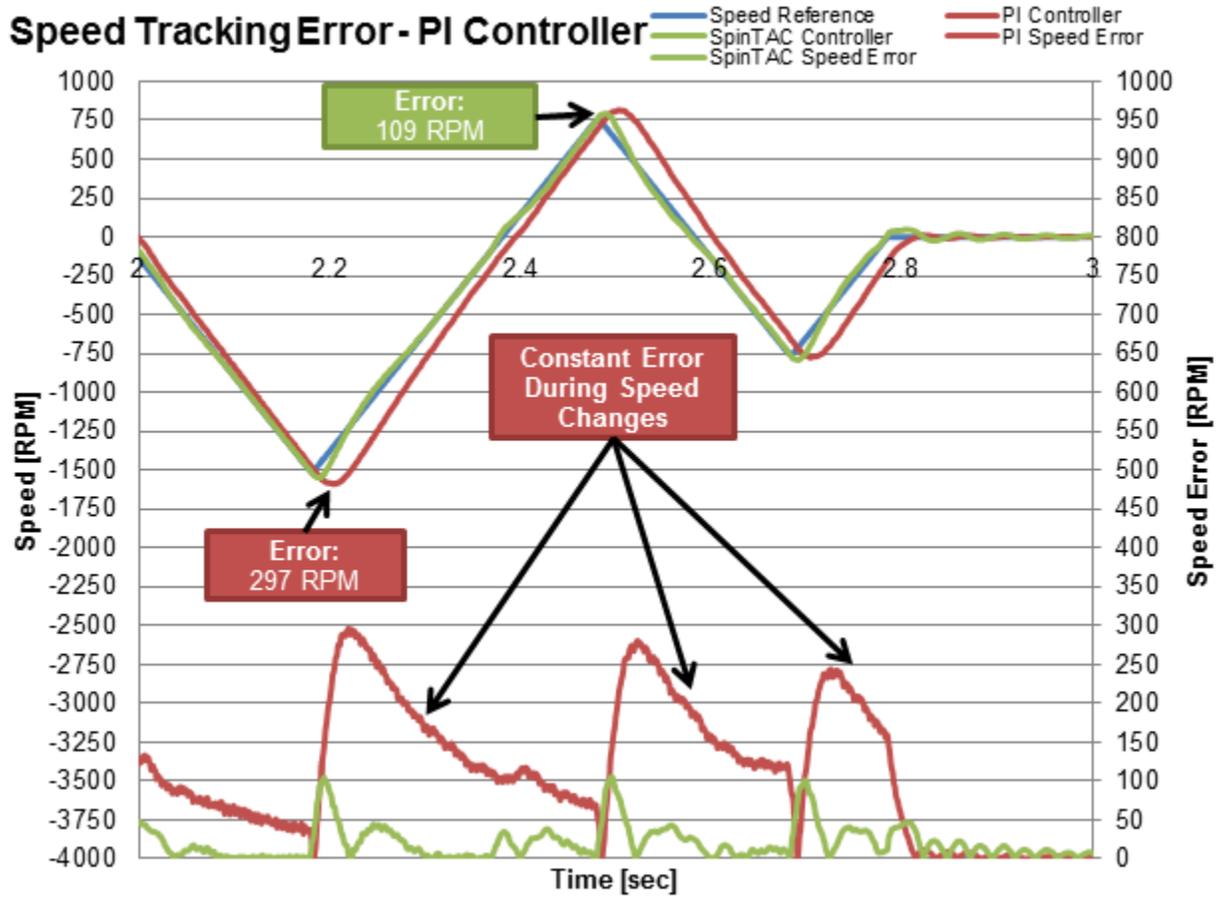


图 21. 基准跟踪期间针对 PI 控制器的速度跟踪误差

当从零速度启动并且轨迹变化较慢时，PI 控制器遇到的困难比 SpinTAC 控制器遇到的困难更多。这是因为 SpinTAC 控制器具有跟踪一个变化的基准信号的出色能力。图 22 显示基准跟踪测试中这一跟踪能力的示例。

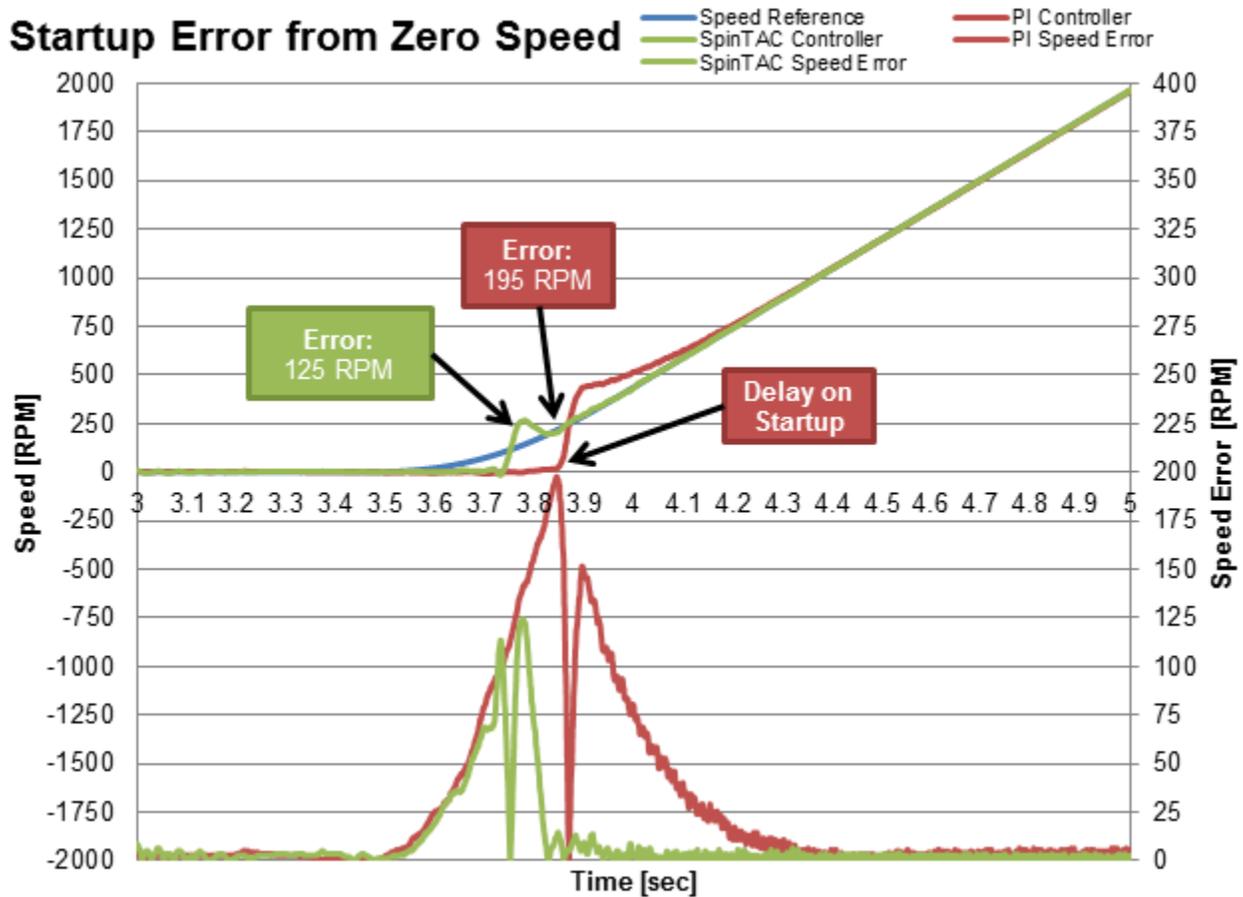


图 22. PI 控制器零速度启动的启动误差

在您的系统配置中测试多个速度和加速度以及多个不同负载同样重要。当被置于不同情况下，速度控制器具有不同的性能特点。为了完全评估您的速度控制器的效率，应该在应用范围内执行测试。这包括您何时为测试设计系统配置。设计时应该注意，以确保在系统配置中建立应用速度和加速度。这些测试结果将告诉您控制器是否满足应用技术规格，或者您的控制器是否需要针对不同的运行点进行多次调整。您应该注意到，在图 19 中测试了宽范围的速度和加速度。

创建可重复系统配置也很重要。使用 SpinTAC Move 和 SpinTAC Plan 可完成可重复系统配置创建 [《TMS320F2802xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xM InstaSPIN-MOTION 用户指南》(文献编号: SPRUHJ1) 提供与 SpinTAC Move 和 SpinTAC Plan 相关的详细信息]。需要可重复系统配置，这样，可使用顺序一致同一基准，在相同的时间长度内测试全部控制器。这样确保了测试条件尽可能一样。使用 SpinTAC Move 和 SpinTAC Plan 来生成针对这个测试的系统配置，以确保提供给 SpinTAC 和 PI 控制器的系统配置完全一样。

测量了以下参数：

- 绝对平均速度误差：整个速度系统配置范围内，距离目标速度的正偏离或负偏离。
- 最大速度误差：速度系统配置期间，距离目标速度的最大偏离。

**表 5. SpinTAC 与 PI 控制器跟踪测试结果比较**

	梯形曲线			st-Curve		
	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)
<b>Teknic 电机</b>						
绝对平均误差 (rpm)	6.01	19.94	69.86	5.98	19.51	69.35
最大误差 (rpm)	266.06	430.00	38.13	263.00	334.71	21.42
<b>Estun 电机</b>						
绝对平均误差 (rpm)	5.39	16.11	66.54	5.73	16.124	64.46
最大误差 (rpm)	248.29	312.74	20.61	181.64	307.61	40.95

### 6.1.3 阶跃响应

阶跃响应测试一个控制器对意外输入变化的响应速度。这个测试中评估的两个衡量标准为稳定时间和最大过冲。这个测试还测量了您的控制器的稳定性。如果控制器在达到目标速度时发生振荡，那么他非常不稳定。

阶跃系统配置被施加到每个控制器。这个阶跃输入绕过了系统配置发生器。测量了以下参数：

- 稳定时间（从阶跃输入直到目标速度的 2% 以内）：稳定时间反映出控制器达到目标速度所需的时间，以及使电机的速度进入目标速度附近的一个窄带范围内所需的时间。
- 最大过冲：阶跃输入后，电机达到的最大速度。

**图 23** 比较 SpinTAC 和 PI 控制器的阶跃响应。它还给出了这些衡量标准计算的可视化表示。SpinTAC 控制器能够以零过冲和最少的稳定时间达到目标速度。它实现最少稳定时间的原因是由于此控制器不允许电机超过目标速度。

### Step Response Test (0 to 100% Rated Speed)

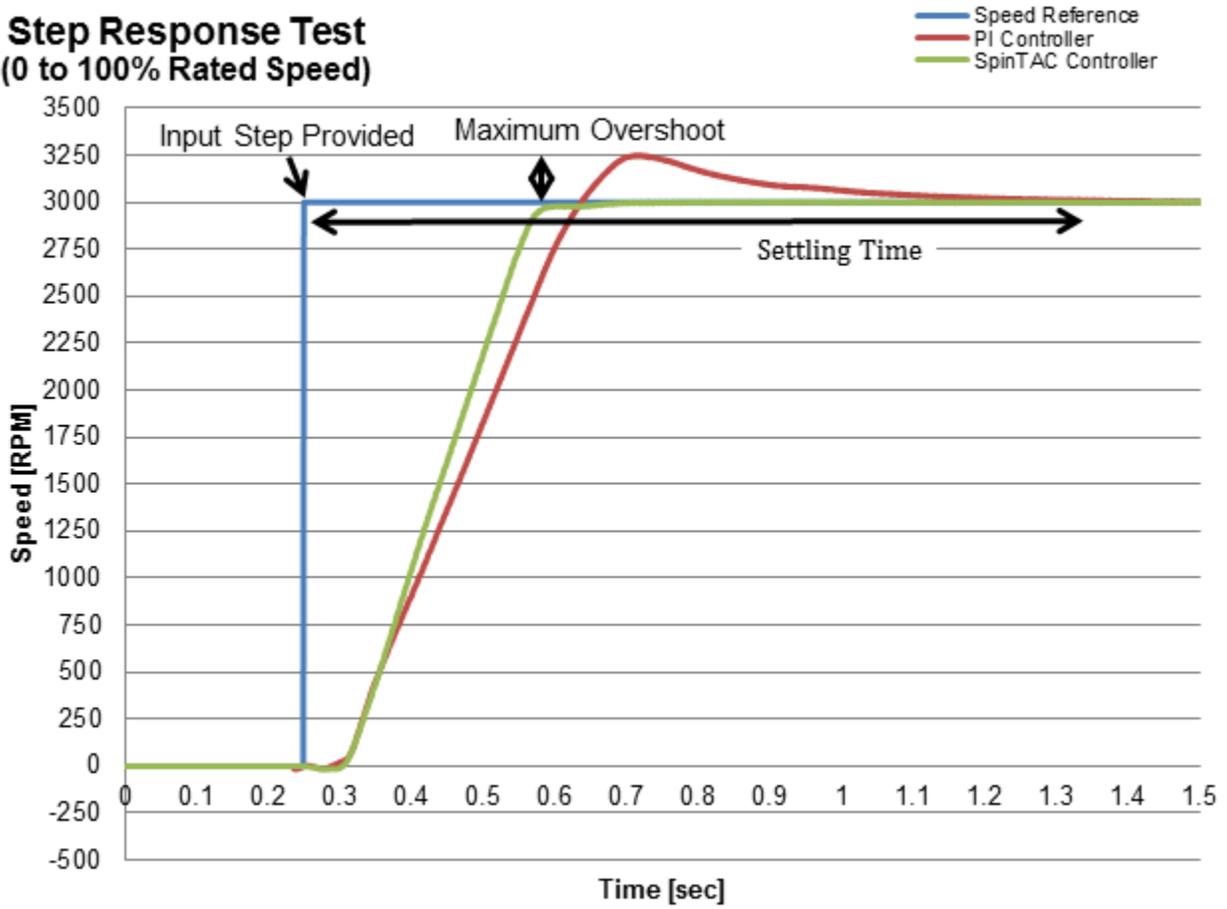


图 23. 最大过冲和稳定时间的阶跃响应

**表 6. SpinTAC 与 PI 阶跃响应测试结果比较（对于 Teknic 电机）**

稳定时间 (s)			过冲 (rpm)		
SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)
<b>0 - 4000rpm</b>					
2.67	3.45	22.66	73	140.4	48.01
2.48	3.39	26.84	71.5	139.6	48.78
2.52	3.51	28.21	70.1	138.2	49.28
2.54	3.59	29.25	71.5	138.2	48.26
2.64	3.39	22.12	70.1	139.6	49.79
<b>0 - 2000rpm</b>					
0.84	1.51	44.37	317	319.6	0.81
0.9	1.42	36.62	325	320.3	-1.47
0.86	1.42	39.44	332	320.3	-3.65
0.93	1.45	35.86	390	320.3	-21.76
0.92	1.42	35.21	325	319.6	-1.69
<b>0 - 1000rpm</b>					
0.65	1.28	49.38	239	316.2	24.41
0.79	1.1	28.18	269	317.6	15.3
0.57	1.27	55.12	195	319.1	38.89
0.59	1.38	57.25	203	318.4	36.24
0.59	1.18	50	24.16	318.4	38.76

**表 7. SpinTAC 与 PI 阶跃响应测试结果比较（对于 Estun 电机）**

稳定时间 (s)			过冲 (s)		
SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)	SpinTAC	PI	SpinTAC 优势 (对 PI 的改进百分比)
<b>0 - 3000rpm</b>					
0.44	1.16	61.81	2.9	250.5	98.84
0.54	1.1	50.91	2.9	251.2	98.85
0.38	1.32	71.21	2.9	252.7	98.85
0.4	1.21	66.94	2.9	252	98.85
0.42	1.41	70.21	2.9	252.7	98.85
<b>0 - 1500rpm</b>					
0.25	1.12	78	3.7	261.5	98.59
0.37	1.3	71.54	19	262.2	92.75
0.47	1.12	58.04	3.7	263.7	98.6
0.42	1.1	61.82	3.7	263.7	98.6
0.44	1.13	61.06	3.7	262.9	98.59
<b>0 - 750rpm</b>					
0.41	0.81	49.63	63.72	286.4	77.75
0.32	0.61	47.54	76.17	179.44	57.55
0.43	0.71	39.44	71.04	279.8	74.61
0.32	0.62	48.39	13.91	292.2	95.24
0.32	0.73	56.16	24.16	177.97	86.42

## 6.2 SpinTAC 位置控制性能

当电机运行在 100% 额定速度 (3000rpm) 时，通过注入 25% 额定转矩 (45 oz-in) 干扰来调整针对 Estun 电机的 SpinTAC 位置控制。这导致以下增益（对于位置和速度）：

### SpinTAC 位置控制

- 带宽 = 36 弧度每秒

用与电机耦合的达因数来估算 SpinTAC 位置控制所使用的惯性。发现这个值为 0.44 A / (krpm/s)。

对于 Teknic 电机，通过在电机以 50% 额定速度 (2000rpm) 运转的同时，注入 50% 额定转矩 (19.4 oz-in) 干扰来调整 SpinTAC 位置控制。由于速度和位置之间的关联关系，当位置控制器被调整以体验最小速度干扰时，这意味着位置也将有相似的性能。这导致以下增益（对于位置和速度）：

### SpinTAC 位置控制

- 带宽 = 50 弧度每秒

用与电机耦合的达因数来估算 SpinTAC 位置控制所使用的惯性。发现这个值为 0.07 A / (krpm/s)。

这些确定的增益在所有测试过程中保持恒定。这样做是为了突出显示 SpinTAC 位置控制的宽工作范围。

## 6.2.1 抗扰

抗扰测试涉及以固定速度运行电机所需的连续位置基准的生成。10s 周期时间的平方转矩脉冲通过 Magtrol 测力计被施加到电机转轴上，以评估此控制器对这些干扰进行抑制的严密程度。抗扰测试控制器对影响电机速度和位置的外部干扰的补偿能力。图 24 是一个抗扰测试的示例。使用最大位置误差和稳定时间来测量控制器响应。最大位置误差显示从基准位置轨迹的偏离，并且表示出控制器调整的积极程度。积极调整将产生一个低最大误差。图 24 显示最大位置误差少于 0.1 机械旋转。

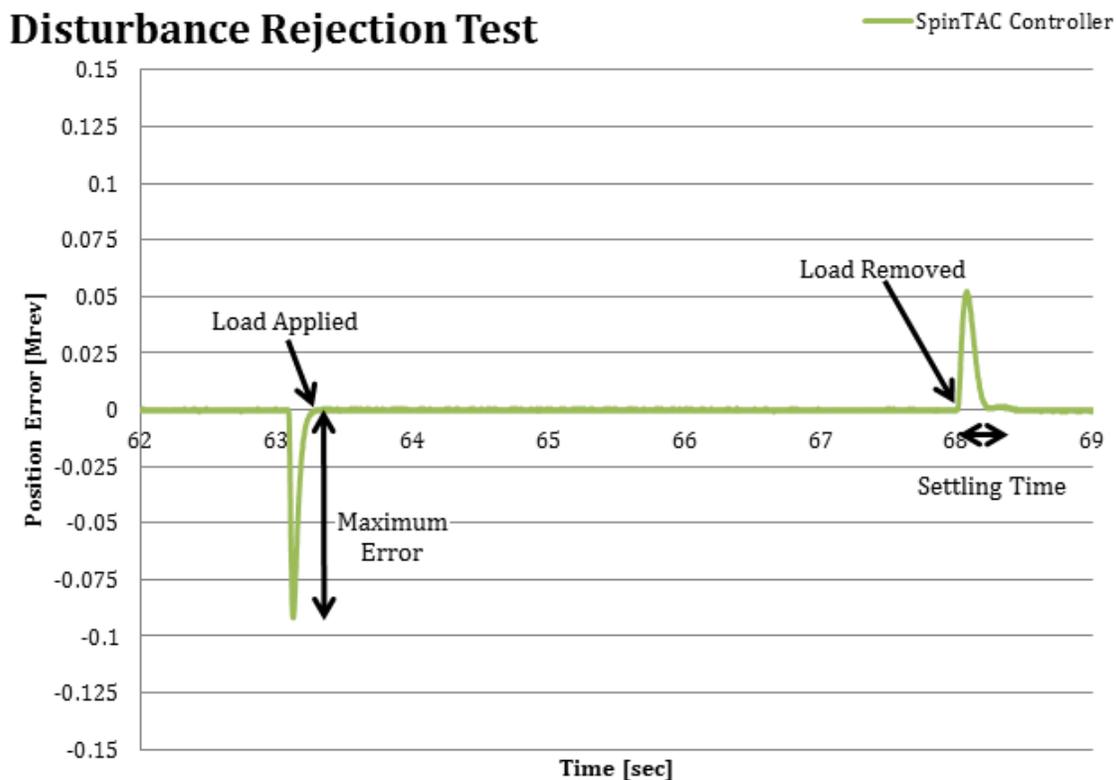


图 24. 最大速度误差和稳定时间的抗扰测试

稳定时间是指从干扰发生的时间点到位置反馈返回至一个目标位置基准附近的固定范围内所需要的时间。这也表示出您的控制环路调整的积极程度。如果控制器的调整过于积极，控制器的稳定时间将会比较长，这是因为控制器将在稳定前在目标速度附近振荡。图 24 显示稳定时间少于一秒。

当进行抗扰测试时，在多个速度和负载组合下进行测试很重要。为了完全评估您的位置控制器的效率，测试应该在速度范围内完成，这是因为位置是速度的一个积分。这些测试结果将表示此控制器是否符合应用技术规格的要求，或者是否需要针对不同的运行点进行多次调整。作为这些测试的一部分，为了测试宽范围运行，我们已经测试了 9 个不同的速度和负载组合（表 8 和表 9）。

能够创建可重复的干扰也很重要。这一要求可通过使用一个测力计或扰动电机来实现。在评估多个控制器时，创建可重复干扰是一个重要因素。如果测试条件不能被复制，那么就很难充分地比较两个控制器的响应。

对于以下测试结果，创建了干扰负载系统配置，将 25%、50% 和 100% 额定转矩施加到电机上。这些测试结果显示 SpinTAC 位置控制的性能，并且测量了以下参数：

- 平均恢复时间（从干扰点直到目标速度的 2% 以内）- 在负载被施加，以及负载从系统中移除时测量平均恢复时间。
- 绝对平均位置误差 - 当系统干扰被引入时，距离机械旋转 (MRev) 基准位置的正偏离或负偏离。
- 最大位置误差 - 当干扰被引入时，机械旋转 (MRev) 中距离目标位置的最大偏离。

**表 8. SpinTAC 位置控制抗扰测试结果**  
(对于 **Tecknic** 电机)

	1000rpm	2000rpm	4000rpm
<b>25% 额定转矩</b>			
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.48	0.46	0.41
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.18	0.25	0.20
绝对平均误差 (MRev)	8.95E-4	7.50E-4	7.31E-4
平均最大误差 (MRev)	0.05	0.05	0.04
<b>50% 额定转矩</b>			
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.36	0.44	0.27
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.23	0.25	0.25
绝对平均误差 (MRev)	1.70E-3	1.40E-3	1.40E-3
平均最大误差 (MRev)	0.10	0.10	0.09
<b>100% 额定转矩</b>			
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.36	0.38	0.34
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.26	0.28	0.50
绝对平均误差 (MRev)	3.20E-3	3.00E-3	2.40E-3
平均最大误差 (MRev)	0.17	0.17	0.14

**表 9. SpinTAC 位置控制抗扰测试结果**  
(对于 **Estun** 电机)

	750rpm	1500rpm	3000rpm
<b>25% 额定转矩</b>			
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.37	0.36	0.32
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.23	0.23	0.25
绝对平均误差 (MRev)	2.56E-4	2.63E-4	2.60E-4
平均最大误差 (MRev)	0.01	0.01	0.01
<b>50% 额定转矩</b>			
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.27	0.27	0.25
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.25	0.25	0.26
绝对平均误差 (MRev)	4.26E-4	4.38E-4	4.26E-4
平均最大误差 (MRev)	0.01	0.01	0.01

**表 9. SpinTAC 位置控制抗扰测试结果  
(对于 Estun 电机) (continued)**

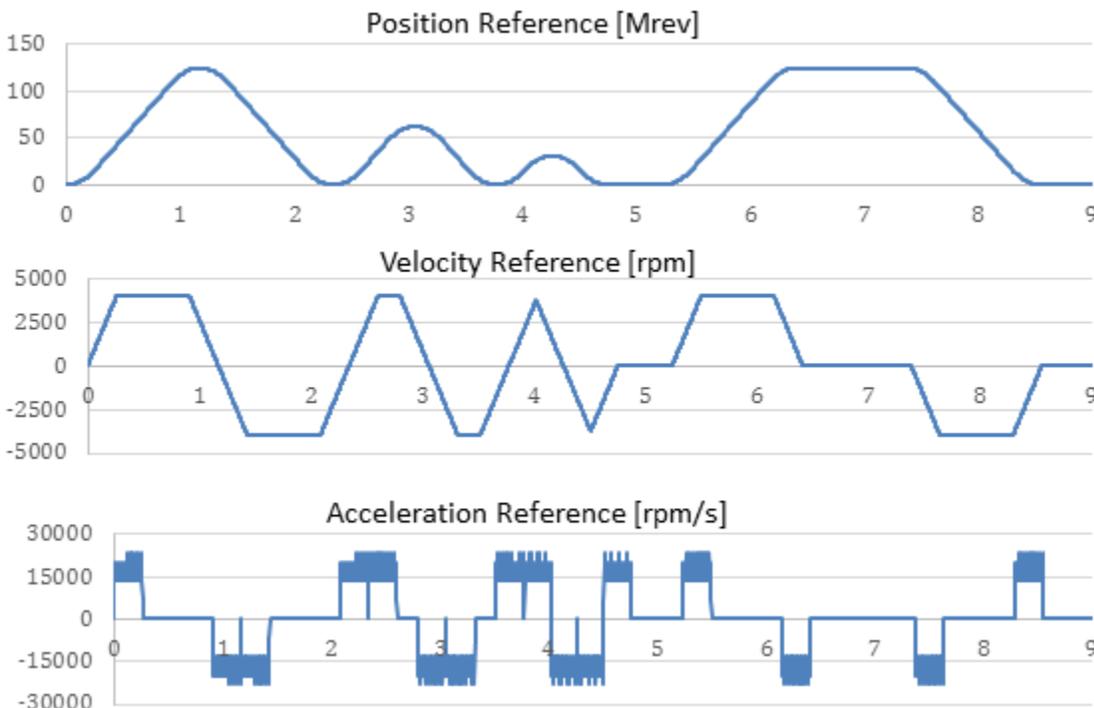
	750rpm	1500rpm	3000rpm
<b>100% 额定转矩</b>			
平均恢复时间 (s) - 负载被施加	0.55	0.51	0.44
平均恢复时间 (s) - 负载被移除	0.29	0.28	0.28
绝对平均误差 (MRev)	7.40E-3	5.80E-3	3.80E-3
平均最大误差 (MRev)	0.37	0.32	0.23

## 6.2.2 基准跟踪

基准跟踪测试控制器跟随变化的位置目标的程度。这个测试中评估的衡量标准是最大误差和绝对平均误差。最大位置误差显示速度变化时，控制器过冲的大小。这个值表示您控制器调整的积极程度。如果控制器的调整不够积极主动，速度将超过目标值，并且将需要花费较长的时间恢复。如果控制器的调整过于积极主动，它将过冲，然后在稳定至位置目标时发生振荡。如果控制器被正确调整，它的过冲值最小，然后平稳返回至位置目标。

绝对平均误差是整个系统配置范围内瞬时位置误差绝对平均值。这个测量结果显示整个系统配置上的偏离量。它将电机运行时的全部小值误差考虑在内。如果控制器的调整过于积极，它将导致较大的绝对平均误差，这是由控制器将在整个系统配置内振荡所造成的。如果控制器的调整不够积极，它将导致较大的绝对平均误差，这是因为它始终落后于系统配置对电机的指令操作。

创建一个位置跟踪系统配置，以一个重复模式来使用电机（请见 图 25）。此系统配置被用来测量 SpinTAC 位置控制的性能。此系统配置已包括快速转换以及逐渐全面转换。


**图 25. 基准跟踪测试期间使用的位置系统配置**

在您的位置系统配置中测试多个速度和加速度以及多个不同负载同样重要。当被置于不同情况下，位置控制器具有不同的性能特点。为了完全评估您的控制器的效率，应该在整個应用范围内执行测试。这包括您何时为测试设计系统配置。设计时应该注意，以确保在位置系统配置中建立应用速度和加速度。这些测试结果将告诉您控制器是否满足应用技术规格，或者您的控制器是否需要针对不同的运行点进行多次调整。您应该注意到，在 [图 25](#) 中测试了宽范围的速度和加速度。

创建可重复系统配置也很重要。使用 SpinTAC Move 和 SpinTAC Plan 可完成可重复系统配置创建 [《TMS320F2802xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xM InstaSPIN-MOTION 用户指南》(文献编号: [SPRUHJ1](#)) 提供与 SpinTAC Move 和 SpinTAC Plan 相关的详细信息]。您在测试 SpinTAC 位置控制与其他控制器（诸如 PI 控制器）之间的区别时需要可重复系统配置。一个可重复系统配置确保使用顺序一致的同一基准，在相同的时间长度内测试控制器，并且测试条件尽可能完全一样。使用 SpinTAC Move 和 SpinTAC Plan 来生成针对这个测试的系统配置。

测量了以下参数：

- 绝对平均位置误差 - 在整个位置系统配置内，机械旋转 (MRev) 中距离目标的偏离。
- 最大位置误差 - 位置系统配置期间，机械旋转 (MRev) 中距离目标位置的最大偏离。

**表 10. SpinTAC 位置系统配置跟踪测试结果**

	梯形曲线	st-Curve
<b>Teknic 电机</b>		
绝对平均误差 (MRev)	0.00	0.00
最大误差 (MRev)	0.01	0.01
<b>Estun 电机</b>		
绝对平均误差 (MRev)	0.00	0.00
最大误差 (MRev)	0.00	0.01

### 6.2.3 阶跃响应

针对一个位置控制器的阶跃测试涉及到为控制器提供一个阶跃输入，以确定一个控制器对意外输入变化的响应速度。这个测试中评估的两个衡量标准为稳定时间和最大过冲。这个测试还测量了您的控制器的稳定性。如果控制器在达到目标速度时发生振荡，那么他非常不稳定。

一个阶跃系统配置被施加到 SpinTAC 位置控制。这个阶跃输入绕过了系统配置发生器。测量了以下参数：

- 稳定时间（从阶跃输入直到目标位置的 2% 以内）- 稳定时间反映出控制器达到目标位置所花费的时间。
- 最大过冲 - 阶跃输入后，测得的最大电机机械旋转。

[图 26](#) 显示出 SpinTAC 位置控制能够以零过冲和最少稳定时间达到目标位置。

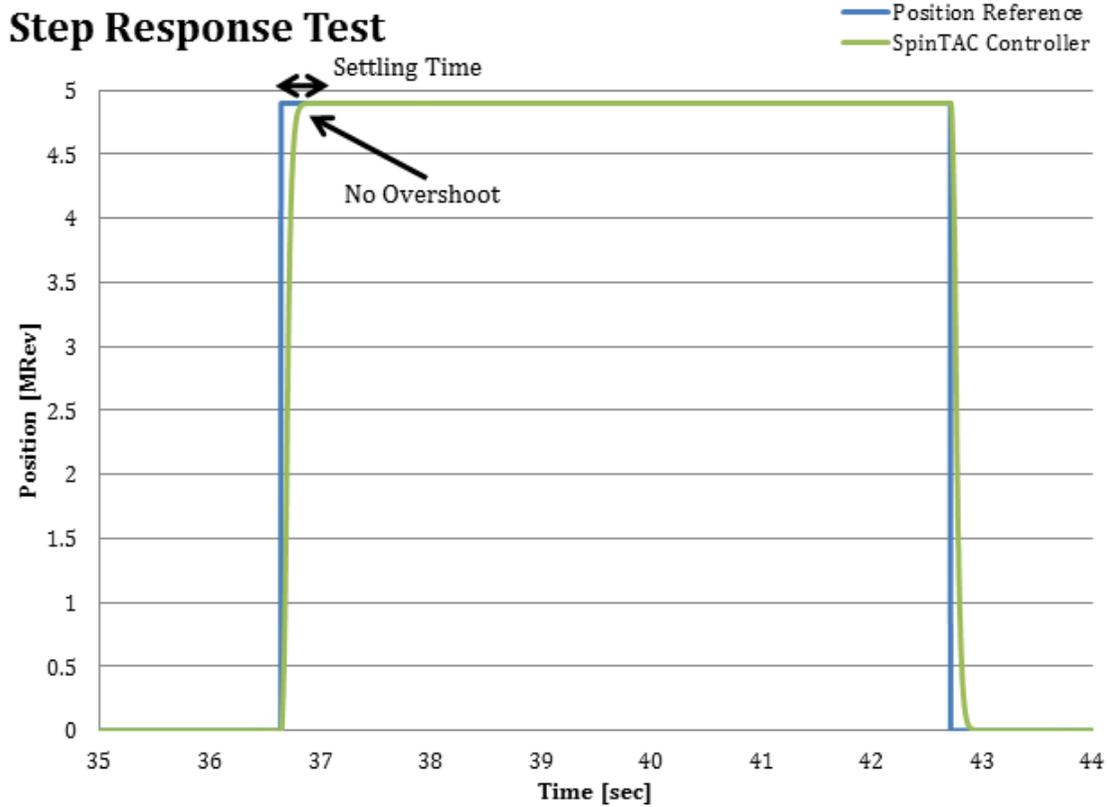


图 26. 最大过冲和稳定时间的阶跃响应

表 11. SpinTAC 位置控制阶跃响应测试结果（对于 Teknic 电机）

	稳定时间 (s)	过冲 (MRev)
<b>0 - 4.9MRev</b>		
	0.23	0.00
	0.22	0.00
	0.25	0.00
	0.28	0.00
	0.27	0.00
<b>0 - 2.5MRev</b>		
	0.24	0.00
	0.23	0.00
	0.24	0.00
	0.23	0.00
	0.21	0.00
<b>0 - 1.25MRev</b>		
	0.21	0.00
	0.20	0.00
	0.18	0.00
	0.18	0.00
	0.23	0.00

**表 12. SpinTAc 位置控制阶跃响应测试结果（对于 Estun 电机）**

	稳定时间 (s)	过冲 (MRev)
<b>0 - 4.9MRev</b>		
	0.67	1.26
	0.94	1.27
	0.86	1.27
	0.70	1.27
	0.81	1.27
<b>0 - 2.5MRev</b>		
	0.53	0.23
	0.52	0.23
	0.62	0.23
	0.56	0.23
	0.17	0.23
<b>0 - 1.25MRev</b>		
	0.53	0.00
	0.53	0.00
	0.53	0.00
	0.53	0.00
	0.60	0.00

#### 6.2.4 惯性估算可重复性

系统惯性是到 SpinTAc 速度控制和 SpinTAc 位置控制的重要输入。使用 SpinTAc 速度识别来估算惯性值。SpinTAc 速度识别产生一个非常准确的惯性估算。为了测试 SpinTAc 速度识别的可重复性，对于每个电机，惯性识别过程运行了 100 次。在图 27 和图 28 中采集这些结果。

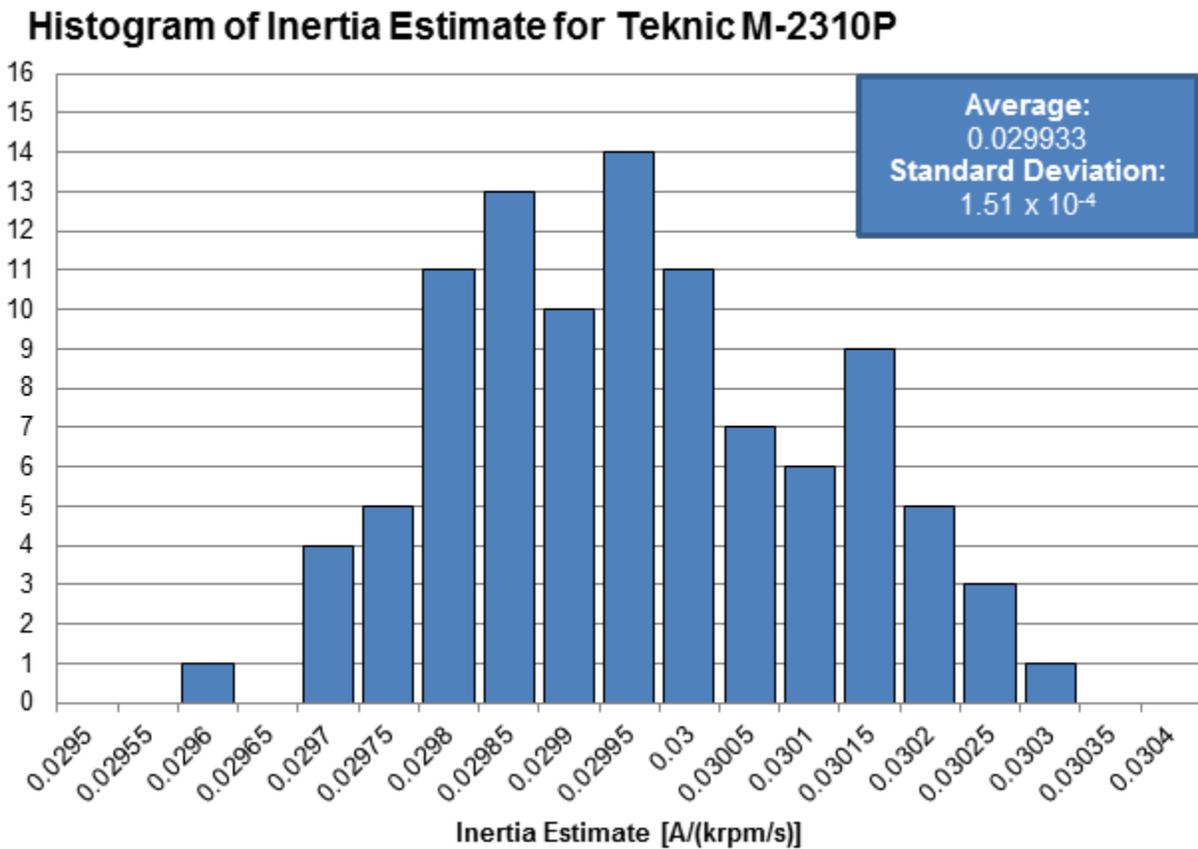


图 27. 针对 Teknic M-2013P 的惯性估算结果

### Histogram of Inertia Estimate for Estun EMJ-04APB22

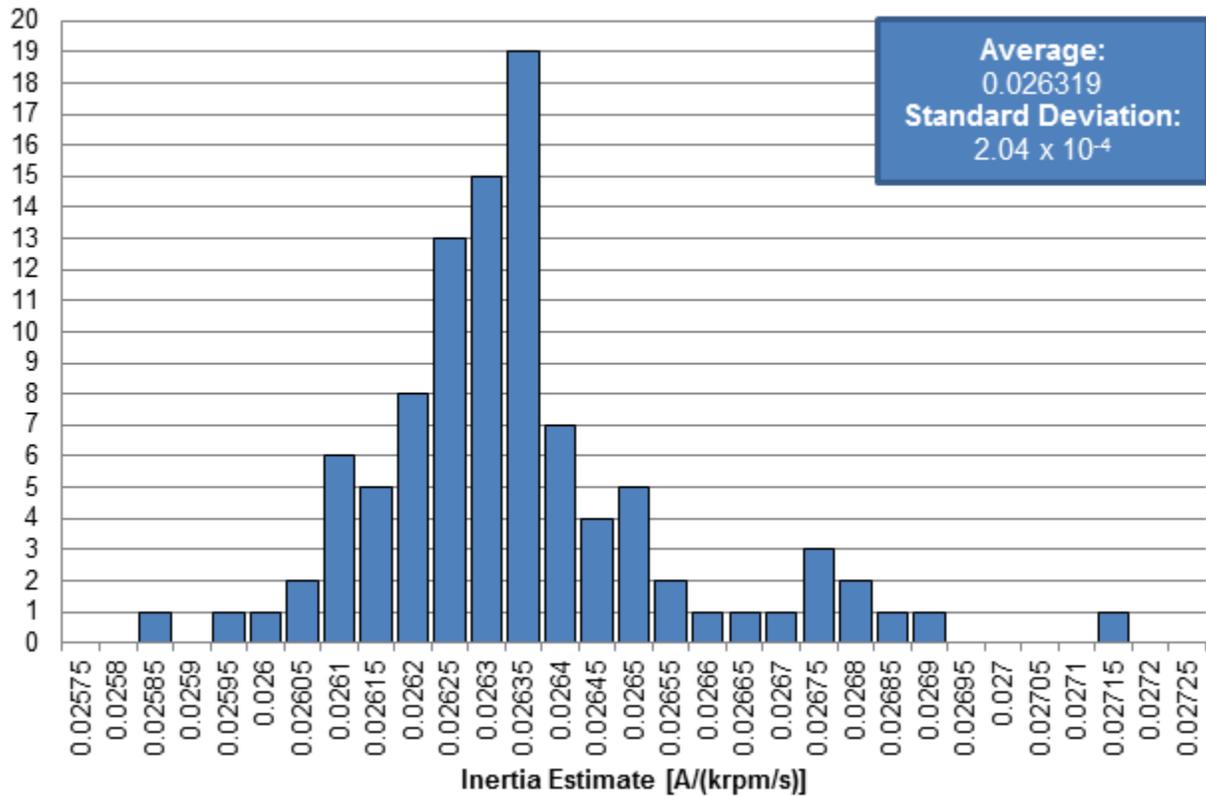


图 28. 针对 Estun EMJ-04APB22 的惯性估算结果

上面的结果明显地显示出 SpinTAC 速度识别具有一个很高程度的可重复性。提供给 SpinTAC 控制器的惯性估算值不需要是理想的惯性值。作为一项稳健耐用特性，一个 SpinTAC 速度控制器可以接受宽范围的惯性变化。然而，如果提供的惯性值是准确的，SpinTAC 速度控制器将始终产生最佳性能。

## 7 微控制器资源

InstaSPIN 库所要求的 TMS320F2806xM 微控制器资源在 《TMS320F2802xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xF InstaSPIN-FOC, TMS320F2806xM InstaSPIN-MOTION 用户指南》（[文献编号: SPRUHJ1](#)）中进行了详细讨论。

测量了以下资源以确定 InstaSPIN-MOTION 库的使用量:

- CPU 利用率
- 存储器分配
- 堆栈利用率
- 数字和模拟引脚利用率

### 7.1 CPU 利用率

图 29 图示了提供给设计人员用来管理每个主要软件函数的实时调度的选项。

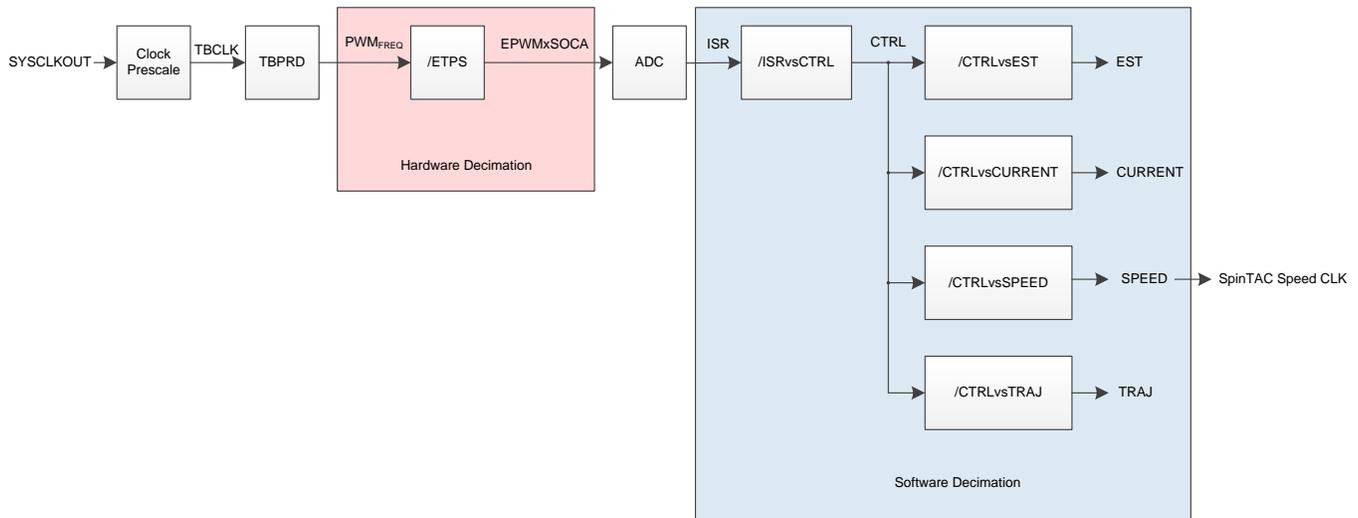


图 29. 软件执行时钟树用实时调度提供灵活性

表 13 表示 28069M 和 28068M 器件上, 运行自 ROM 的 SpinTAC 组成部分的 CPU 周期利用率。请注意, 这个数据只针对 SpinTAC, 并且的确包括 InstaSPIN-FOC。对于 InstaSPIN-FOC CPU 利用率和存储器占用量, 请参见 《TMS320F28069F, TMS320F28068F, TMS320F28062F InstaSPIN™-FOC 软件技术参考手册》（[文献编号: SPRUHI9](#)）。

速度计数被用来计算 SpinTAC 采样时间。SpinTAC 从主中断处理例程 (ISR) 中调用, 但是也可使用与速度控制器运行时所使用的抽取率一样的抽取率来抽取。可通过将

USER\_NUM\_ISR\_TICKS\_PER\_CTRL\_TICK 乘以 USER\_NUM\_CTRL\_TICKS\_PER\_SPEED\_TICK 来计算正确的抽取率。

**表 13. 在 RAM 执行库时, SpinTAC CPU 周期利用率<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>**

函数名称	CPU 周期			执行位置		
	最小值	平均值	最大值	ROM	RAM	闪存
<b>STVELCTL_run</b> (速度控制)						
RES = 1, ENB = 0	158	158	158			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>573</b>	<b>573</b>	<b>573</b>			
ENB = 1 后的首次调用	1010	1010	1010	✓	✓	×
改变带宽	786	786	786			
改变惯性参数	786	786	786			
RES = 1, ENB = 1	165	165	165			
<b>STVELMOVE_run</b> (速度移动)						
RES = 1, ENB = 0	202	202	202			
<b>stcurve RES = 0, ENB = 1</b>	<b>713</b>	<b>743</b>	<b>1444</b>			
<b>scurve RES = 0, ENB = 1</b>	<b>676</b>	<b>709</b>	<b>1409</b>	✓	✓	×
<b>trap RES = 0, ENB = 1</b>	<b>547</b>	<b>620</b>	<b>1134</b>			
RES = 1, ENB = 1	191	191	191			
<b>STVELPLAN_run</b> (速度规划)						
RES = 1, ENB = 0	159	159	159			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>169</b>	<b>169</b>	<b>169</b>			
ENB = 1 后首次调用	326	326	326			
STAY FSM 状态	188	188	188			
条件 FSM 状态 对于每个状态, 计算必须完成	324 (固定) + 290 * 转换数 + 68 * EXIT (退出) 操作数			✓	✓	×
转换 FSM 状态 对于每个状态, 计算必须完成	226 (固定) + 63 * ENTER (进入) 操作数					
<b>STVELPLAN_runTick</b> (ISR 函数)	58	79.7	80			
<b>STVELID_run</b> (速度识别)						
RES = 1, ENB = 0	142	142	142			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>217</b>	<b>239</b>	<b>667</b>	✓	✓	×
ENB = 1 后首次调用	1083	1083	1083			
RES = 1, ENB = 1	149	149	149			
<b>STPOSCOV_run</b> (位置转换)						
RES = 1, ENB = 0	110	110	110			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>303</b>	<b>310</b>	<b>311</b>	✓	✓	×
ENB = 1 后首次调用	985	985	985			
RES = 1, ENB = 1	118	118	118			
<b>STPOSCTL_run</b> (位置控制)						
RES = 0, ENB = 0	176	176	176			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>1134</b>	<b>1139</b>	<b>1154</b>			
ENB = 1 后首次调用	1927	1927	1927	✓	✓	×
改变带宽参数	1632	1632	1632			
改变惯性参数	1632	1632	1632			
RES = 1, ENB = 1	185	185	185			

(1) 微控制器在脉宽调制 (PWM) 为 15kHz 时, 以 90MHz 的频率运行。

(2) RES = 1 表示此组成部分在复位中。

(3) ENB = 1 表示此组成部分被启用。

(4) 粗体字 显示典型状态。

**表 13. 在 RAM 执行库时, SpinTAC CPU 周期利用率<sup>(1)(2)(3)(4)</sup> (continued)**

函数名称	CPU 周期			执行位置		
	最小值	平均值	最大值	ROM	RAM	闪存
<b>STPOSMOVE_run</b> (位置移动)						
RES = 0, ENB = 0	406	406	406			
<b>stcurve</b> RES = 0, ENB = 1	<b>621</b>	<b>1395</b>	<b>2902</b>			
速度受控系统配置	1254	1368	2524			
<b>scurve</b> RES = 0, ENB = 1	<b>621</b>	<b>1344</b>	<b>2570</b>	✓	✓	×
速度受控系统配置	1201	1330	2486			
<b>trap</b> RES = 0, ENB = 1	<b>621</b>	<b>1264</b>	<b>2536</b>			
速度受控系统配置	1302	1612	2095			
RES = 1, ENB = 1	381	381	381			
<b>STPOSPLAN_run</b> (位置规划)						
RES = 1, ENB = 0	173	173	173			
RES = 0, ENB = 1	201	201	201			
ENB = 1 后首次调用	363	363	363			
STAY FSM 状态	201	201	201			
条件 FSM 状态 对于每个状态, 计算必须完成	388 (固定) + 296 * 转换数 + 68 * EXIT 操作数			✓	✓	×
转换 FSM 状态 对于每个状态, 计算必须完成	240 (固定) + 63 * ENTER (进入) 操作数					
<b>STPOSPLAN_runTick</b> (ISR 函数)	58	79.7	80			

**表 14. 在闪存中执行库时, SpinTAC CPU 周期利用率<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>**

函数名称	CPU 周期			执行位置		
	最小值	平均值	最大值 40V	ROM	RAM	闪存
<b>STVELCTL_run</b> (速度控制)						
RES = 1, ENB = 0	216	216	216			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>672</b>	<b>672</b>	<b>672</b>			
ENB = 1 后的首次调用	1191	1191	1191	✓	×	✓
改变带宽	938	938	938			
改变惯性参数	938	938	938			
RES = 1, ENB = 1	220	220	220			
<b>STVELMOVE_run</b> (速度移动)						
RES = 1, ENB = 0	275	275	275			
<b>stcurve RES = 0, ENB = 1</b>	<b>823</b>	<b>859</b>	<b>1725</b>			
<b>scurve RES = 0, ENB = 1</b>	<b>786</b>	<b>825</b>	<b>1689</b>	✓	×	✓
<b>trap RES = 0, ENB = 1</b>	<b>654</b>	<b>743</b>	<b>1401</b>			
RES = 1, ENB = 1	251	251	251			
<b>STVELPLAN_run</b> (速度规划)						
RES = 1, ENB = 0	219	219	219			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>266</b>	<b>266</b>	<b>266</b>			
ENB = 1 后的首次调用	427	427	427			
STAY FSM 状态	266	266	266			
条件 FSM 状态 对于每个状态, 计算必须完成	415 (固定) + 386 * 转换数 + 84 * EXIT 操作数			✓	×	✓
条件 FSM 状态 对于每个状态, 计算必须完成	320 (固定) + 83 * ENTER 操作数					
<b>STVELPLAN_runTick</b> (ISR 函数)	91	118.6	119			
<b>STVELID_run</b> (速度识别)						
RES = 1, ENB = 0	198	198	198			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>305</b>	<b>305</b>	<b>305</b>			
ENB = 1 后的首次调用	1366	1366	1366	✓	×	✓
RES = 1, ENB = 1	206	206	206			
<b>STPOSCOV_run</b> (位置转换)						
RES = 1, ENB = 0	145	145	145			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>395</b>	<b>398</b>	<b>399</b>			
ENB = 1 后的首次调用	1238	1238	1238	✓	×	✓
RES = 1, ENB = 1	170	170	170			
<b>STPOSCTL_run</b> (位置控制)						
RES = 0, ENB = 0	246	246	246			
<b>RES = 0, ENB = 1</b>	<b>1315</b>	<b>1320</b>	<b>1330</b>			
ENB = 1 后的首次调用	2262	2262	2262	✓	×	✓
改变带宽参数	1928	1928	1928			
改变惯性参数	1928	1928	1928			
RES = 1, ENB = 1	254	254	254			

(1) 微控制器在脉宽调制 (PWM) 为 15kHz 时, 以 90MHz 的频率运行。

(2) RES = 1 表示此组成部分在复位中。

(3) ENB = 1 表示此组成部分被启用。

(4) 粗体字 显示典型状态。

**表 14. 在闪存中执行库时, SpinTAC CPU 周期利用率<sup>(1)(2)(3)(4)</sup> (continued)**

函数名称	CPU 周期			执行位置		
	最小值	平均值	最大值 40V	ROM	RAM	闪存
<b>STPOSMOVE_run</b> (位置移动)						
RES = 0, ENB = 0	520	520	520			
<b>stcurve</b> RES = 0, ENB = 1	<b>792</b>	<b>1605</b>	<b>3238</b>			
速度受控系统配置	1425	1557	2959			
<b>scurve</b> RES = 0, ENB = 1	<b>792</b>	<b>1557</b>	<b>3217</b>	✓	×	✓
速度受控系统配置	1373	1520	2922			
<b>trap</b> RES = 0, ENB = 1	<b>792</b>	<b>1502</b>	<b>3162</b>			
速度受控系统配置	1492	1888	2922			
RES = 1, ENB = 1	495	495	495			
<b>STPOSPLAN_run</b> (位置规划)						
RES = 1, ENB = 0	229	229	229			
RES = 0, ENB = 1	276	276	276			
ENB = 1 后的首次调用	473	473	473			
STAY FSM 状态	276	276	276			
条件 FSM 状态 对于每个状态, 计算必须完成	473 (固定) + 378 * 转换数 + 83 * EXIT 操作数			✓	×	✓
转换 FSM 状态 对于每个状态, 计算必须完成	327 (固定) + 83 * ENTER 操作数					
<b>STPOSPLAN_runTick</b> (ISR 函数)	92	115.9	116			

## 7.2 内存利用率

表 15 列出了每个 SpinTAC 组成部分的内存用量。SpinTAC 速度规划和 SpinTAC 位置规划的不同内存要求代表项目中所使用的配置函数的数量。

表 15. 针对 SpinTAC 组成部分的代码尺寸和 RAM 用量

组成部分	Code (.text) (16 位字)	RAM (.ebss) (16 位字)
速度控制	0x2F4	0x74
速度移动	0x464	0x84
速度规划 (最小值)	0x680	0x4E
速度规划 (最大值)	0x13BA	0x4E
速度识别	0x3A5	0x5D
位置转换	0x1CC	0x3A
位置控制	0x41E	0x62
位置移动	0x10AF	0xC2
位置规划 (最小值)	0x7EE	0x60
位置规划 (最大值)	0x16AA	0x60

表 16 在 SpinTAC 组成部分单个运行时，分解了 SpinTAC 组成部分的最大堆栈利用率。包括了 InstaSPIN-FOC 的堆栈使用量。为了计算堆栈用量，放置堆栈的整个内存部分被填充为已知值。然后相应的代码运行几分钟。分配给堆栈的内存区域被分析，并且计算出内存使用量。

表 16. SpinTAC 组成部分 + InstaSPIN-FOC 的堆栈利用率

配置	使用的最大堆栈 (16 位字)
速度控制	0x0120
速度移动	0x0120
速度规划 + 移动 + 控制	0x0120
速度识别	0x0120
位置转换	0x0120
位置控制	0x0120
位置移动	0x0120
位置规划 + 移动 + 控制	0x0120

对于 F2806x 和 F2806xM 器件，InstaSPIN-FOC v1.6 和 SpinTAC v2.2.4 被存储在 0x3F8000 至 0x3FBFF 的地址范围内，并且 L8-RAM 的最后部分被保留给 InstaSPIN 变量，地址范围在 0x013800 至 0x013FFF 之间。图 30 显示那些已经被分配给 InstaSPIN-FOC 和 SpinTAC 的内存位置。

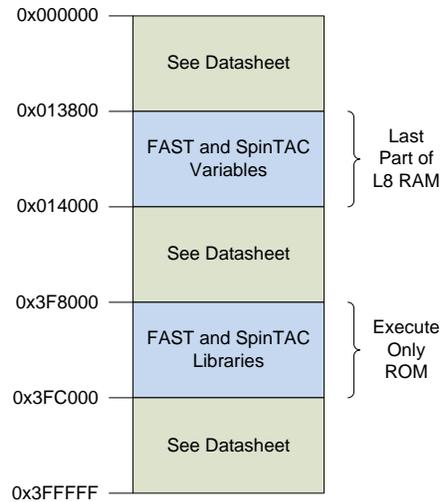


图 30. 为 InstaSPIN-FOC 和 SpinTAC 库分配的 F2806x 和 F2806xM 内存

## 附录 A 术语和首字母缩略词定义

**ACIM** — 交流感应电机。

**ADRC** — 主动抗扰控制。实时地估算和补偿系统干扰。

**CCStudio** — Code Composer Studio.

**FAST** — 统一观测器结构，此结构充分利用所有使用磁通量来进行能量转换的电机间的相似之处来自动识别所需的电机参数并提供以下电机反馈信号：

- 针对稳定磁通监视和场强减弱的高质量 **磁通**信号。
- 与独立于 **ACIM** 全部转子参数的传统观测器技术相比，在更宽的速度范围内具有出色的转子磁通 **角度**估算精度。
- 实时低噪声电机转轴 **速度**信号。
- 针对负载监视和失衡检测的准确高带宽 **转矩**信号。

**FOC** — 磁场定向控制。

**强制角** — 用于启动时的 100% 力矩，直到 **FAST** 转子磁通角跟踪器在第一个电周期内收敛。

**InstaSPIN-FOC** — 由选择器件（**FAST** 观测器，**FOC**，速度和电流环路）上的 TI 片上 ROM 提供完整的无传感器 **FOC** 解决方案，从而有效地控制您的电机，而又无需使用任何机械转子传感器。

**InstaSPIN-MOTION** — 一款综合电机、运动和速度控制软件解决方案，此解决方案以最高效率为运行在不同运动状态转换中的电机应用提供稳健耐用的系统性能。**InstaSPIN-MOTION** 建立于 **InstaSPIN-FOC** 之上，并且包含 **InstaSPIN-FOC**，它与 LineStream Technologies 公司的 **SpinTAC™** 运动控制套件组合在一起。

**IPM** — 内部永磁电机。

**LineStream Technologies** — 嵌入式控制软件领域的先驱。LineStream 公司引以拥有来自六个不同国家的电机控制专家团队而感到骄傲，这些专家总共说十五种不同的语言，并且具有超过八十年的从业经验，LineStream 公司正在快速成为世界上嵌入式电机控制领域的杰出代表。

**电机参数 ID 或电机识别** — 一个特性被添加到 **InstaSPIN-FOC**，从而为用户提供一个工具，这样，即使在电机参数未知时，电机也可以以最高性能运行。

**PI** — 比例积分调节器。

**PMSM** — 永磁同步电机。

**PowerWarp™** — 用于交流感应电机 (**ACIM**) 实现最小流耗的工作模式。

**Rs 离线重校准** — 当电机未运行时，**InstaSPIN-FOC** 特性被用来重新校准定子电阻，**Rs**。

**Rs 在线重校准** — 当电机运行在闭环中时，**InstaSPIN-FOC** 特性被用来重新校准定子电阻，**Rs**。

**SpinTAC™ 运动控制套件** — 包括一个高级速度控制器，一个运动引擎，和一个运动序列规划器。

**SpinTAC** 抗扰速度控制器主动估算且实时补偿系统干扰，从而提升总体产品性能。**SpinTAC** 运动电机根据用户定义的参数来计算理想基准信号（具有前馈）。**SpinTAC** 支持标准工业曲线，以及 LineStream 的专有“平滑轨迹”曲线。**SpinTAC** 运动序列规划器运行用户定义的状态转换图，从而轻松设计复杂运动序列。

**SVM** — 空间矢量调制。

## 修订历史记录

<b>Changes from Original (April 2013) to A Revision</b>	<b>Page</b>
• Changed 1 节, 启用 F2806xM InstaSPIN™-MOTION 的微控制器 (MCU) .....	5
• Deleted FAST 估算器特性章节 .....	7
• Added 2 节, InstaSPIN-MOTION 关键功能和优势 .....	7
• Deleted InstaSPIN-FOC 解决方案特性和 InstaSPIN-MOTION 解决方案特性以及优势章节 .....	12
• Changed 3 节, InstaSPIN-MOTION 方框图 .....	12
• Deleted SpinTAC 运动控制套件改进系统性能章节 .....	19
• Added 4 节, 应用示例 .....	19
• Changed 5 节, InstaSPIN-MOTION 替代需要对参数不断进行调整的 PID 控制器 .....	23
• Changed 6 节, 评估 InstaSPIN-MOTION 性能 .....	26
• Changed 7 节, 微控制器资源 .....	46

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a> 通信与电信 <a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a> 计算机及周边 <a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a> 消费电子 <a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a> 能源 <a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a> 工业应用 <a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a> 医疗电子 <a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a> 安防应用 <a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a> 汽车电子 <a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a> 视频和影像 <a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a> 德州仪器在线技术支持社区 <a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道1568号, 中建大厦32楼邮政编码: 200122  
Copyright © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司