MCT8316A-Q1 高速无传感器梯形控制集成 FET BLDC 驱动器

1 特性

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
  - 温度等级 1：–40°C ≤ T_A ≤ 125°C
- 采用集成无传感器电机控制算法的三相 BLDC 电机驱动器
  - 无代码高速梯形控制
  - 支持高达 3kHz（电气频率）
  - 非常短的启动时间（< 50ms）
  - 快速减速 (< 150ms)
  - 支持 120° 或 150° 调制，以改善声学性能
  - 通过正向重新同步和反向驱动支持风力机
  - 模拟，PWM，频率或基于 I^2C 的速度输入
  - 主动消磁支持减少功率损耗
  - 可配置的电机启动和停止选项
  - 可选闭环速度控制
  - 抗电压浪涌保护可防止过压
  - 通过 DACOUT 进行变量监控
- 4.5V 至 35V 工作电压（绝对最大值 40V）
- 高输出电流能力：8A 峰值
- 低 MOSFET 导通状态电阻
  - T_A = 25°C 时，$R_{DS(ON)}$ (HS + LS) 为 95mΩ
- 低功耗睡眠模式
  - V_{VM} = 24V、T_A = 25°C 时为 3μA（最大值）
- 速度环路精度：3% 使用内部时钟，1% 使用外部时钟参考
- 支持高达 100kHz 的 PWM 频率，以支持低电感电机
- 不需要外部电流检测电阻器
- 内置 3.3V ±5%、20mA LDO 稳压器
- 内置的 3.3V/5V、170mA 降压稳压器
- 专用 DRVOFF 引脚以禁用（高阻态）输出
- 展频和压摆率，用于降低 EMI
- 整套集成保护特性
  - 电源欠压锁定 (UVLO)
  - 电机锁定检测（5 种不同类型）
  - 过流保护 (OCP)
  - 热警告和热关断 (OTW/TSD)
  - 故障条件指示引脚 (nFAULT)
  - 可选择通过 I^2C 接口进行故障诊断

2 应用

- 无刷直流 (BLDC) 电机模块
- 两轮车燃油泵
- 头枕控制模块

3 说明

MCT8316A-Q1 为需要高速运行（高达 3kHz 电气）或极快启动速度 (< 50ms) 的客户提供了一个单芯片无代码无传感器梯形器件，此器件适用于峰值电流高达 8A 的 12V 至 24V 无刷直流电机。MCT8316A-Q1 集成了三个 1/2H 桥，具有 40V 的绝对最大电压和 95mΩ 的超低 $R_{DS(ON)}$（高侧 + 低侧）。可调降压稳压器和 LDO 的电源管理性能为器件生成 3.3V 或 5.0V 的电压轨，可用于为外部电路供电。

从电机启动行为到闭环运行，通过寄存器设置可为无传感器梯形控制实现很高的可配置性。这些设置可保存在非易失性 EEPROM 中，从而让器件可以在配置后独立运行。该器件通过 PWM 输入、模拟电压、可变频率方波或 I^2C 命令接收速度命令。MCT8316A-Q1 集成了多种保护特性，可出现故障事件时保护该器件、电机和系统。

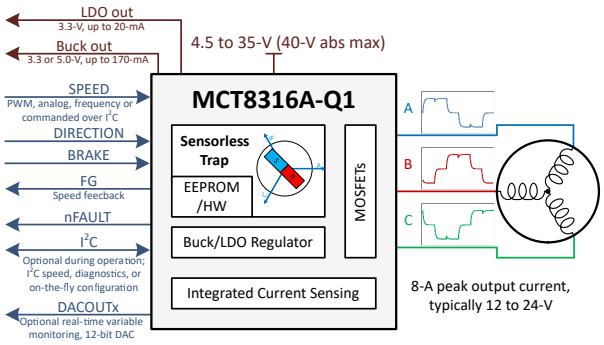
器件信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸（标称值）(2)
MCT8316A1VQRGFRQ1	可湿性侧面 VQFN (40)	7.00mm × 5.00mm

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的可订购产品附录。
(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。

参考文档：

- 请参阅 E2E 常见问题解答中的阐释。
- 请参阅 MCT8316A-Q1 调优指南
- 请参阅 MCT8316A-Q1 EVM GUI



简化原理图

本资源的原文使用英文撰写。 为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。 为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

内容

1 特性.... 1
2 应用.... 1
3 说明.... 1
4 引脚配置和功能.... 3
5 规格.... 5
5.1 绝对最大额定值.... 5
5.2 ESD 等级 - 汽车.... 5
5.3 建议运行条件.... 5
5.4 热性能信息.... 6
5.5 电气特性.... 6
5.6 标准和快速模式下 SDA 和 SCL 总线的特征.... 13
6 详细说明.... 15
6.1 概述.... 15
6.2 功能方框图.... 16
6.3 特性说明.... 17
6.4 器件功能模式.... 68
6.5 外部接口.... 68
6.6 EEPROM 访问和 I²C 接口.... 70
6.7 EEPROM（非易失性）寄存器映射.... 76
6.8 RAM（易失性）寄存器映射.... 126
7 应用和实施.... 136
7.1 应用信息.... 136
7.2 典型应用.... 136
7.3 电源相关建议.... 143
7.4 布局.... 143
8 器件和文档支持.... 147
8.1 支持资源.... 147
8.2 商标.... 147
8.3 静电放电警告.... 147
8.4 术语表.... 147
9 修订历史记录.... 147
10 机械、封装和可订购信息.... 147

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

4 引脚配置和功能

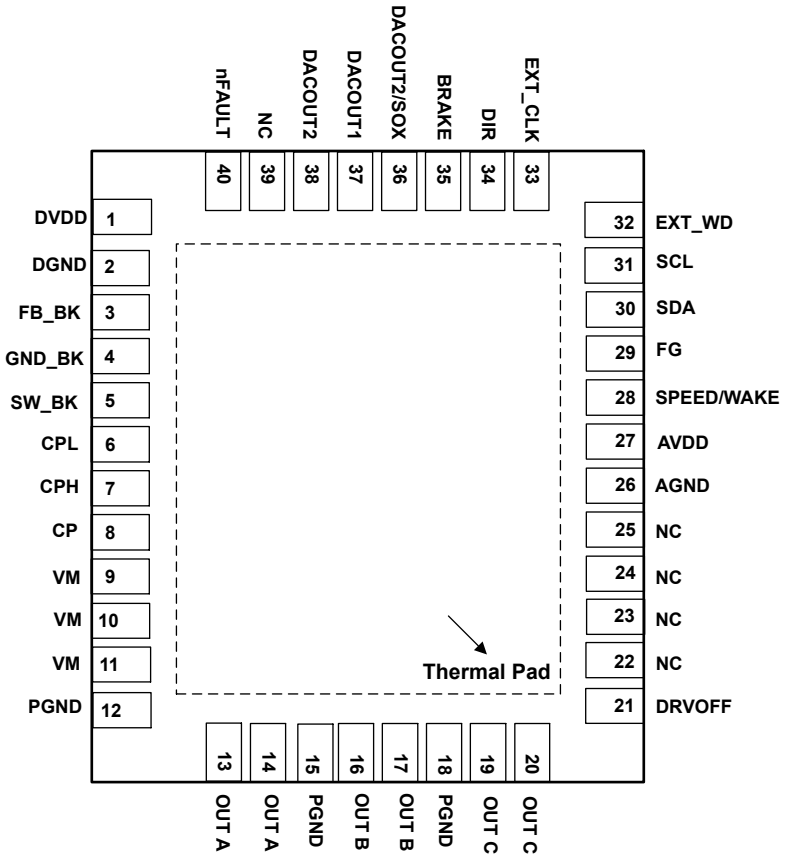


图 4-1. MCT8316A-Q1，40 引脚 VQFN（带有外露散热焊盘）顶视图

表 4-1. 引脚功能

引脚	40 引脚封装	类型[(1)]	说明
名称	MCT8316A-Q1		
AGND	26	GND	器件模拟接地。有关连接建议，请参阅 布局指南 。
AVDD	27	PWR O	3.3V 内部稳压器输出。在 AVDD 和 AGND 引脚之间连接一个 X5R 或 X7R、1μF、6.3V 的陶瓷电容器。该稳压器可从外部拉取高达 20mA 的电流。
BRAKE	35	I	高电平 → 制动电机 低电平 → 正常运行 如果未使用，则通过 10kΩ 电阻器连接到 PGND
CP	8	PWR	电荷泵输出。在 CP 和 VM 引脚之间连接一个 X5R 或 X7R、1μF、16V 的陶瓷电容器。
CPH	7	PWR	电荷泵开关节点。在 CPH 和 CPL 引脚之间连接一个 X5R 或 X7R、47nF 陶瓷电容器。TI 建议电容器的额定电压至少是器件正常工作电压的两倍。
CPL	6	PWR	
DACOUT2/SOX	36	O	通用引脚： 配置为 DACOUT2 时的 DAC 输出 配置为 SOX 的 CSA 输出
DACOUT1	37	O	DAC 输出 DACOUT1
DACOUT2	38	O	DAC 输出 DACOUT2
DGND	2	GND	器件数字接地。有关连接建议，请参阅 布局指南 。

表 4-1. 引脚功能（续）

引脚 名称	40 引脚封装 MCT8316A-Q1	类型(1)	说明
DIR	34	I	电机旋转方向； 当为低电平时，相位驱动序列为 OUT A → OUT B → OUT C 当为高电平时，相位驱动序列为 OUT A → OUT C → OUT B 如果未使用，则通过 10kΩ 电阻器连接到 PGND
DRVOFF	21	I	对所有六个 MOSFET 进行滑行（高阻态）。
DVDD	1	PWR	1.5V 内部稳压器输出。在 DVDD 和 DGND 引脚之间连接一个 X5R 或 X7R、1μF、6.3V 的陶瓷电容器。
EXT_CLK	33	I	外部时钟基准模式下的外部时钟基准输入。
EXT_WD	32	I	外部看门狗输入。
FB_BK	3	PWR I/O	降压稳压器的反馈。连接到电感器/电阻器之后的降压稳压器输出。
FG	29	O	电机速度指示器输出。开漏输出需要一个连接到 3.3V 至 5V 电压的外部上拉电阻器。
GND_BK	4	GND	降压稳压器接地。有关连接建议，请参阅 布局指南 。
NC	22、23、24、25、39	-	无连接，开路
nFAULT	40	O	故障指示器。故障状态下拉至逻辑低电平；开漏输出需要一个连接到 3.3V 至 5V 电压的外部上拉电阻器。
OUTA	13，14	PWR O	半桥输出 A
OUTB	16，17	PWR O	半桥输出 B
OUTC	19，20	PWR O	半桥输出 C
PGND	12、15、18	GND	器件电源接地。有关连接建议，请参阅 布局指南 。
SCL	31	I	I^2C 时钟输入
SDA	30	I/O	I^2C 数据线
SPEED/ WAKE	28	I	器件速度输入；支持模拟、频率或 PWM 速度输入。可以通过 SPD_CTRL_MODE 配置速度引脚输入。
SW_BK	5	PWR	降压开关节点。将此引脚连接到电感器或电阻器。
VM	9、10、11	PWR I	器件和电机电源。连接到电机电源电压；通过一个 0.1 μF 陶瓷电容器以及一个大容量电容器旁路到 GND。TI 建议电容器的额定电压至少是器件正常工作电压的两倍。
散热焊盘		GND	必须连接到 AGND

(1) I = 输入，O = 输出，GND = 接地引脚，PWR = 电源，NC = 无连接

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

5 规格

5.1 绝对最大额定值

在工作环境温度范围内测得（除非另有说明）[(1)]

	最小值	最大值	单位
电源引脚电压 (VM)	-0.3	40	V
电源电压斜坡 (VM)		4	V/µs
接地引脚（GND_BK、DGND、PGND、AGND）之间的电压差	-0.3	0.3	V
电荷泵电压（CPH、CP）	-0.3	V_{VM} + 6	V
电荷泵负开关引脚电压 (CPL)	-0.3	V_{VM} +0.3	V
开关稳压器引脚电压 (FB_BK)	-0.3	6	V
开关节点引脚电压 (SW_BK)	-0.3	V_{VM} +0.3	V
模拟稳压器引脚电压 (AVDD)	-0.3	4	V
数字稳压器引脚电压 (DVDD)	-0.3	1.7	V
逻辑引脚输入电压（BRAKE、DRVOFF、DIR、EXT_CLK、EXT_WD、SCL、SDA、SPEED）	-0.3	6	V
开漏引脚输出电压（nFAULT、FG）	-0.3	6	V
输出引脚电压（OUTA、OUTB、OUTC）	-1	V_{VM} + 1	V
环境温度，T_A	-40	125	°C
结温，T_J	-40	150	°C
贮存温度，T_{stg}	-65	150	°C

(1) 超出绝对最大额定值运行可能会对器件造成永久损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议运行条件但在绝对最大额定值范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能，并缩短器件寿命

5.2 ESD 等级 - 汽车

				值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002[(1)] HBM ESD 分类等级 2		±2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011 CDM ESD 分类等级 C4B	转角引脚	±750	
			其他引脚	±750	

(1) AEC Q100-002 指示 HBM 应力测试应当符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范。

5.3 建议运行条件

在工作环境温度范围内测得（除非另有说明）

			最小值	标称值	最大值	单位
V_{VM}	电源电压	V_{VM}	4.5	24	35	V
I_{OUT} [(1)]	峰值输出绕组电流	OUTA、OUTB、OUTC			8	A
V_{IN_LOGIC}	逻辑输入电压	BRAKE、DRVOFF、DIR、EXT_CLK、EXT_WD、SPEED、SDA、SCL	-0.1		5.5	V
V_{OD}	开漏上拉电压	nFAULT、FG	-0.1		5.5	V
I_{OD}	开漏输出电流能力	nFAULT、FG			5	mA
T_A	工作环境温度		-40		125	°C
T_J	工作结温		-40		150	°C

(1) 必须遵循功率耗散和热限值

5.4 热性能信息

热指标[1]		MCT8316A -Q1 RGF (VQFN) 40 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	25.7	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	15.2	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	7.3	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	0.2	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	7.2	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	结至外壳（底部）热阻	2.0	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅半导体和 IC 封装热指标应用报告。

5.5 电气特性

T_J = –40°C 至 +150°C，V_{VM} = 4.5V 至 35V（除非另有说明）。典型限值适用于 T_A = 25°C、V_{VM} = 24V

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源						
I_{VMQ}	VM 睡眠模式电流	V_{VM} > 6V，V_{SPEED} = 0，T_A = 25°C		3	5	μA
		V_{SPEED} = 0，T_A = 125°C		3.5	7	μA
I_{VMS}	VM 待机模式电流	V_{VM} > 6V，V_{SPEED} > V_{EN_SB}，DRVOFF = 高电平，T_A = 25°C，L_{BK} = 47μH，C_{BK} = 22μF		8	15	mA
		V_{VM} > 6V，V_{SPEED} > V_{EN_SB}，DRVOFF = 高电平，R_{BK} = 22Ω，C_{BK} = 22μF		25	28	mA
		V_{VM} > 6V，V_{SPEED} > V_{EN_SB}，DRVOFF = 高电平，L_{BK} = 47μH，C_{BK} = 22μF		8	15	mA
		V_{VM} > 6V，V_{SPEED} > V_{EN_SB}，DRVOFF = 高电平，R_{BK} = 22Ω，C_{BK} = 22μF		25	28	mA
I_{VM}	VM 工作模式电流	V_{VM} > 6V，V_{SPEED} > V_{EX_SL}，PWM_FREQ_OUT = 10000b (25kHz)，T_J = 25°C，L_{BK} = 47μH，C_{BK} = 22μF，未连接电机		11	18	mA
		V_{VM} > 6V，V_{SPEED} > V_{EX_SL}，PWM_FREQ_OUT = 10000b (25kHz)，T_J = 25°C，R_{BK} = 22Ω，C_{BK} = 22μF，未连接电机		27	32	mA
		V_{VM} > 6V，V_{SPEED} > V_{EX_SL}，PWM_FREQ_OUT = 10000b (25kHz)，L_{BK} = 47μH，C_{BK} = 22μF，未连接电机		11	17	mA
		V_{VM} > 6V，V_{SPEED} > V_{EX_SL}，PWM_FREQ_OUT = 10000b (25kHz)，R_{BK} = 22Ω，C_{BK} = 22μF，未连接电机		28	33	mA
V_{AVDD}	模拟稳压器电压	0mA ≤ I_{AVDD} ≤ 20mA	3.125	3.3	3.465	V
I_{AVDD}	外部模拟稳压器负载				20	mA
V_{DVDD}	数字稳压器电压		1.4	1.55	1.65	V
V_{VCP}	电荷泵稳压器电压	VCP，以 VM 为基准	4.0	4.7	5.5	V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

T_J = –40°C 至 +150°C，V_{VM} = 4.5V 至 35V（除非另有说明）。典型限值适用于 T_A = 25°C、V_{VM} = 24V

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
降压稳压器						
V_{BK}	降压稳压器平均电压（L_{BK} = 47μH，C_{BK} = 22μF）	V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 170mA，BUCK_SEL = 00b	3.1	3.3	3.5	V
		V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 170mA，BUCK_SEL = 01b	4.6	5.0	5.4	V
		V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 170mA，BUCK_SEL = 10b	3.7	4.0	4.3	V
		V_{VM} > 6.7V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 170mA，BUCK_SEL = 11b	5.2	5.7	5.8	V
		V_{VM} < 6.0V（BUCK_SEL = 00b、01b、10b、11b），0mA ≤ I_{BK} ≤ 170mA		V_{VM} – I_{BK}*(R_{LBK} +2) [1]		V
V_{BK}	降压稳压器平均电压（L_{BK} = 22μH，C_{BK} = 22μF）	V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 20mA，BUCK_SEL = 00b	3.1	3.3	3.5	V
		V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 20mA，BUCK_SEL = 01b	4.6	5.0	5.4	V
		V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 20mA，BUCK_SEL = 10b	3.7	4.0	4.3	V
		V_{VM} > 6.7V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 20mA，BUCK_SEL = 11b	5.2	5.7	5.8	V
		V_{VM} < 6.0V（BUCK_SEL = 00b、01b、10b、11b），0mA ≤ I_{BK} ≤ 20mA		V_{VM} – I_{BK}*(R_{LBK} +2) [1]		V
V_{BK}	降压稳压器平均电压（R_{BK} = 22Ω，C_{BK} = 22μF）	V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 10mA，BUCK_SEL = 00b	3.1	3.3	3.5	V
		V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 10mA，BUCK_SEL = 01b	4.6	5.0	5.4	V
		V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 10mA，BUCK_SEL = 10b	3.7	4.0	4.3	V
		V_{VM} > 6.7V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 10mA，BUCK_SEL = 11b	5.2	5.7	5.8	V
		V_{VM} < 6.0V（BUCK_SEL = 00b、01b、10b、11b），0mA ≤ I_{BK} ≤ 10mA		V_{VM} – I_{BK}*(R_{LBK} +2) [(1)]		V
V_{BK_RIP}	降压稳压器纹波电压	V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 170mA，带电感器的降压稳压器，L_{BK} = 47μH，C_{BK} = 22μF	-100		100	mV
		V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 20mA，带电感器的降压稳压器，L_{BK} = 22μH，C_{BK} = 22μF	-100		100	mV
		V_{VM} > 6V，0mA ≤ I_{BK} ≤ 10mA，带电阻器的降压稳压器；R_{BK} = 22Ω，C_{BK} = 22μF	-100		100	mV

T_J = –40°C 至 +150°C，V_{VM} = 4.5V 至 35V（除非另有说明）。典型限值适用于 T_A = 25°C、V_{VM} = 24V

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
I_{BK}	外部降压稳压器负载	L_{BK} = 47μH，C_{BK} = 22μF，BUCK_PS_DIS = 1b			170	mA
		L_{BK} = 47μH，C_{BK} = 22μF，BUCK_PS_DIS = 0b			170 – I_{AVDD}	mA
		L_{BK} = 22μH，C_{BK} = 22μF，BUCK_PS_DIS = 1b			20	mA
		L_{BK} = 22μH，C_{BK} = 22μF，BUCK_PS_DIS = 0b			20 – I_{AVDD}	mA
		R_{BK} = 22Ω，C_{BK} = 22μF，BUCK_PS_DIS = 1b			10	mA
		R_{BK} = 22Ω，C_{BK} = 22μF，BUCK_PS_DIS = 0b			10 – I_{AVDD}	mA
f_{SW_BK}	降压稳压器开关频率	调节模式	20		535	kHz
		线性模式	20		535	kHz
V_{BK_UV}	降压稳压器欠压锁定	V_{BK} 上升，BUCK_SEL = 00b	2.7	2.8	2.95	V
		V_{BK} 下降，BUCK_SEL = 00b	2.5	2.6	2.7	V
		V_{BK} 上升，BUCK_SEL = 01b	4.3	4.4	4.55	V
		V_{BK} 下降，BUCK_SEL = 01b	4.1	4.2	4.38	V
		V_{BK} 上升，BUCK_SEL = 10b	2.7	2.8	2.95	V
		V_{BK} 下降，BUCK_SEL = 10b	2.5	2.6	2.7	V
		V_{BK} 上升，BUCK_SEL = 11b	4.3	4.4	4.55	V
		V_{BK} 下降，BUCK_SEL = 11b	4.1	4.2	4.38	V
$V_{BK_UV_HYS}$	降压稳压器欠压锁定迟滞	上升至下降阈值，BUCK_SEL = 00b	90	200	400	mV
		上升至下降阈值，BUCK_SEL = 01b	90	200	400	mV
		上升至下降阈值，BUCK_SEL = 10b	90	200	400	mV
		上升至下降阈值，BUCK_SEL =11b	90	200	400	mV
I_{BK_CL}	降压稳压器电流限制阈值	BUCK_CL = 0b	360	600	910	mA
		BUCK_CL = 1b	80	150	260	mA
I_{BK_OCP}	降压稳压器过流保护跳变点		2	3	4	A
t_{BK_RETRY}	过流保护重试时间		0.7	1	1.3	ms
驱动器输出						
$R_{DS(ON)}$	MOSFET 总导通电阻（高侧 + 低侧）	V_{VM} > 6V，I_{OUT} = 1A，T_A = 25°C		95	125	mΩ
		V_{VM} < 6V，I_{OUT} = 1A，T_A = 25°C		105	130	mΩ
		V_{VM} > 6V，I_{OUT} = 1A，T_J = 150°C		140	185	mΩ
		V_{VM} < 6V，I_{OUT} = 1A，T_J = 150°C		145	190	mΩ
SR	相位引脚压摆率从低切换到高（从 20% 上升到 80%）	V_{VM} = 24V，压摆率 = 10b	80	125	185	V/μs
		V_{VM} = 24V，压摆率 = 11b	130	200	280	V/μs
SR	相位引脚压摆率从高切换到低（从 80% 下降到 20%）	V_{VM} = 24V，压摆率 = 10b	80	125	185	V/μs
		V_{VM} = 24V，压摆率 = 11b	110	200	280	V/μs
t_{DEAD}	输出死区时间（高电平到低电平/低电平到高电平）	V_{VM} = 24V，压摆率 = 10b		650	1000	ns
		V_{VM} = 24V，压摆率 = 11b		500	750	ns

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

T_J = –40°C 至 +150°C，V_{VM} = 4.5V 至 35V（除非另有说明）。典型限值适用于 T_A = 25°C、V_{VM} = 24V

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
速度输入 - PWM 模式						
f_{PWM}	PWM 输入频率		0.01		100	kHz
Res_{PWM}	PWM 输入分辨率	0.01kHz ≤ f_{PWM} < 0.35kHz	11	12	13	位
		0.35kHz ≤ f_{PWM} < 2kHz	12	13	14	位
		2kHz ≤ f_{PWM} < 3.5kHz	11	11.5	12	位
		3.5kHz ≤ f_{PWM} < 7kHz	13	13.5	14	位
		7kHz ≤ f_{PWM} < 14kHz	12	12.5	13	位
		14kHz ≤ f_{PWM} < 29.3kHz	11	11.5	12	位
		29.3kHz ≤ f_{PWM} < 60kHz	10	10.5	11	位
		60kHz ≤ f_{PWM} ≤ 100kHz	8	9	10	位
速度输入 - 模拟模式						
V_{ANA_FS}	模拟全速电压		2.95	3	3.05	V
V_{ANA_RES}	模拟电压分辨率			732		μV
速度输入 - 频率模式						
f_{PWM_FREQ}	PWM 输入频率范围	占空比 = 50%	3		32767	Hz
睡眠模式						
V_{EN_SL}	进入睡眠状态时的模拟电压	SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式）			40	mV
V_{EX_SL}	退出睡眠模式时的模拟电压	SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式）	2.2			V
t_{DET_ANA}	检测 SPEED 引脚上的唤醒信号所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式） V_{SPEED} > V_{EX_SL}	0.5	1	1.5	μs
t_{WAKE}	从睡眠状态唤醒的时间	V_{SPEED} > V_{EX_SL} 以使 DVDD 电压可用，SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式）		3	5	ms
$t_{EX_SL_DR_ANA}$	从睡眠状态唤醒后驱动电机所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式），DVDD 电压可用于第一个输出 PWM 脉冲，ISD 检测禁用			20	ms
t_{DET_PWM}	检测 SPEED 引脚上的唤醒信号所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式） V_{SPEED} > V_{IH}	0.5	1	1.5	μs
t_{WAKE_PWM}	从睡眠状态唤醒的时间	V_{SPEED} > V_{IH} 以使 DVDD 电压可用，SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式）		3	5	ms
$t_{EX_SL_DR_PWM}$	从睡眠状态唤醒后驱动电机所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式），DVDD 电压可用于第一个输出 PWM 脉冲，ISD 检测禁用			20	ms
$t_{DET_SL_ANA}$	检测睡眠命令所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式）， V_{SPEED} < V_{EN_SL}，SLEEP_TIME = 00b	0.035	0.05	0.065	ms
		SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式）， V_{SPEED} < V_{EN_SL}，SLEEP_TIME = 01b	0.14	0.2	0.26	ms
		SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式）， V_{SPEED} < V_{EN_SL}，SLEEP_TIME = 10b	14	20	26	ms
		SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式）， V_{SPEED} < V_{EN_SL}，SLEEP_TIME = 11b	140	200	260	ms

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

T_J = –40°C 至 +150°C，V_{VM} = 4.5V 至 35V（除非另有说明）。典型限值适用于 T_A = 25°C、V_{VM} = 24V

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{DET_SL_PWM}$	检测睡眠命令所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式）或 11b（频率模式），V_{SPEED} < V_{IL}，SLEEP_TIME = 00b	0.035	0.05	0.065	ms
		SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式）或 11b（频率模式），V_{SPEED} < V_{IL}，SLEEP_TIME = 01b	0.14	0.2	0.26	ms
		SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式）或 11b（频率模式），V_{SPEED} < V_{IL}，SLEEP_TIME = 10b	14	20	26	ms
		SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式）或 11b（频率模式），V_{SPEED} < V_{IL}，SLEEP_TIME = 11b	140	200	260	ms
t_{EN_SL}	检测到睡眠命令后停止驱动电机所需的时间	V_{SPEED} < V_{EN_SL}（模拟模式）或 V_{SPEED} < V_{IL}（PWM 模式或频率模式）或 V_{SPEED} < V_{IL} 和 DIGITAL_SPEED_CTRL = 0b（I^2C 模式）		1	2	ms

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

T_J = –40°C 至 +150°C，V_{VM} = 4.5V 至 35V（除非另有说明）。典型限值适用于 T_A = 25°C、V_{VM} = 24V

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
待机模式						
$t_{EX_SB_DR_ANA}$	退出待机状态后驱动电机所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式） V_{SPEED} > V_{EX_SB}，禁用 ISD 检测			6	ms
$t_{EX_SB_DR_PWM}$	退出待机状态后驱动电机所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式） V_{SPEED} > V_{IH}，禁用 ISD 检测			6	ms
$t_{DET_SB_ANA}$	检测待机命令所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 00b（模拟模式） V_{SPEED} < V_{EN_SB}	0.5	1	2	ms
$t_{EN_SB_PWM}$	检测待机命令所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式） V_{SPEED} < V_{IL}，SLEEP_TIME = 00b	0.035	0.05	0.065	ms
		SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式） V_{SPEED} < V_{IL}，SLEEP_TIME = 01b	0.14	0.2	0.26	ms
		SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式） V_{SPEED} < V_{IL}，SLEEP_TIME = 10b	14	20	26	ms
		SPD_CTRL_MODE = 01b（PWM 模式） V_{SPEED} < V_{IL}，SLEEP_TIME = 11b	140	200	260	ms
$t_{EN_SB_DIG}$	检测待机命令所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 10b（I^2C 模式），DIGITAL_SPEED_CTRL = 0b		1	2	ms
$t_{EN_SB_FREQ}$	检测待机命令所需的时间	SPD_CTRL_MODE = 11b（频率模式），V_{SPEED} < V_{IL}		4000		ms
t_{EN_SB}	检测到待机命令后停止驱动电机所需的时间	V_{SPEED} < V_{EN_SL}（模拟模式）或 V_{SPEED} < V_{IL}（PWM 模式或频率模式）或 DIGITAL_SPEED_CTRL = 0b（I^2C 模式）		1	2	ms
逻辑电平输入（BRAKE、DIR、EXT_CLK、EXT_WD、SCL、SDA、SPEED）						
V_{IL}	输入逻辑低电平电压	AVDD = 3V 至 3.6V			0.25*AVDD	V
V_{IH}	输入逻辑高电平电压	AVDD = 3V 至 3.6V	0.65*AVDD			V
V_{HYS}	输入迟滞		50	500	800	mV
I_{IL}	输入逻辑低电平电流	AVDD = 3V 至 3.6V	-0.15		0.15	μA
I_{IH}	输入逻辑高电平电流	AVDD = 3V 至 3.6V	-0.4		0.15	μA
R_{PD_SPEED}	输入下拉电阻	SPEED 引脚至 GND	0.6	1	1.4	MΩ
开漏输出（nFAULT、FG）						
V_{OL}	输出逻辑低电平电压	I_{OD} = -5mA			0.4	V
I_{OZ}	输出逻辑高电平电流	V_{OD} = 3.3V	0		0.5	μA
I^2C 串行接口						
V_{I2C_L}	低电平输入电压		-0.5		0.3*AVDD	V
V_{I2C_H}	高电平输入电压		0.7*AVDD		5.5	V
V_{I2C_HYS}	迟滞		0.05*AVDD			V
V_{I2C_OL}	低电平输出电压	2mA 灌电流漏极开路	0		0.4	V
I_{I2C_OL}	低电平输出电流	V_{I2C_OL} = 0.6V			6	mA
I_{I2C_IL}	SDA 和 SCL 上的输入电流		-10[2]		10[2]	μA

T_J = –40°C 至 +150°C，V_{VM} = 4.5V 至 35V（除非另有说明）。典型限值适用于 T_A = 25°C、V_{VM} = 24V

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
C_i	SDA 和 SCL 的电容				10	pF
t_{of}	从 V_{I2C_H}（最小值）到 V_{I2C_L}（最大值）的输出下降时间	标准模式			250[3]	ns
		快速模式			250[3]	ns
t_{SP}	必须由输入滤波器进行抑制的尖峰脉冲宽度	快速模式	0		50[4]	ns
振荡器						
f_{OSCREF}	外部时钟基准	EXT_CLK_CONFIG = 000b		8		kHz
		EXT_CLK_CONFIG = 001b		16		kHz
		EXT_CLK_CONFIG = 010b		32		kHz
		EXT_CLK_CONFIG = 011b		64		kHz
		EXT_CLK_CONFIG = 100b		128		kHz
		EXT_CLK_CONFIG = 101b		256		kHz
		EXT_CLK_CONFIG = 110b		512		kHz
		EXT_CLK_CONFIG = 111b		1024		kHz
EEPROM						
EE_{Prog}	编程电压		1.35	1.5	1.65	V
EE_{RET}	保持	T_A = 25°C		100		年
		T_J = -40°C 至 150℃	10			年
EE_{END}	耐久性	T_J = -40°C 至 150℃	1000			周期
		T_J = -40°C 至 85℃	20000			周期
保护电路						
V_{UVLO}	电源欠压锁定 (UVLO)	VM 上升	4.3	4.4	4.5	V
		VM 下降	4.1	4.2	4.3	V
V_{UVLO_HYS}	电源欠压锁定迟滞	上升至下降阈值	110	200	350	mV
t_{UVLO}	电源欠压抗尖峰脉冲时间		3	5	7	µs
V_{OVP}	电源过压保护 (OVP)	电源电压上升，OVP_EN = 1，OVP_SEL = 0	32.5	34	35	V
		电源电压下降，OVP_EN = 1，OVP_SEL = 0	31.8	33	34.3	V
		电源电压上升，OVP_EN = 1，OVP_SEL = 1	20	22	23	V
		电源电压下降，OVP_EN = 1，OVP_SEL = 1	19	21	22	V
V_{OVP_HYS}	电源过压保护 (OVP)	上升至下降阈值，OVP_SEL = 1	0.9	1	1.1	V
		上升至下降阈值，OVP_SEL = 0	0.7	0.8	0.9	V
t_{OVP}	电源过压抗尖峰脉冲时间		2.5	5	7	µs
V_{CPUV}	电荷泵欠压锁定（高于 VM）	电源上升	2.25	2.5	2.75	V
		电源下降	2.2	2.4	2.6	V
V_{CPUV_HYS}	电荷泵 UVLO 迟滞	上升至下降阈值	65	100	150	mV
V_{AVDD_UV}	模拟稳压器欠压锁定	电源上升	2.7	2.85	3	V
		电源下降	2.5	2.65	2.8	V
$V_{AVDD_UV_HYS}$	模拟稳压器欠压锁定迟滞	上升至下降阈值	180	200	240	mV
I_{OCP}	过流保护跳变点	OCP_LVL = 0b	9.5	16	22	A
		OCP_LVL = 1b	15	24	28	A

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

T_J = –40°C 至 +150°C，V_{VM} = 4.5V 至 35V（除非另有说明）。典型限值适用于 T_A = 25°C、V_{VM} = 24V

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{OCP}	过流保护抗尖峰脉冲时间	OCP_DEG = 00b	0.02	0.2	0.4	µs
		OCP_DEG = 01b	0.2	0.6	1.2	µs
		OCP_DEG = 10b	0.5	1.2	1.8	µs
		OCP_DEG = 11b	0.9	1.6	2.5	µs
t_{RETRY}	过流保护重试时间	OCP_RETRY = 0	4	5	6	ms
		OCP_RETRY = 1	425	500	575	ms
T_{OTW}	热警告温度	芯片温度 (T_J)	135	145	155	°C
T_{OTW_HYS}	热警告迟滞	芯片温度 (T_J)	15	20	25	°C
T_{TSD_BUCK}	热关断温度（降压）	芯片温度 (T_J)	170	180	190	°C
$T_{TSD_BUCK_HYS}$	热关断迟滞（降压）	芯片温度 (T_J)	15	20	25	°C
T_{TSD_FET}	热关断温度 (FET)	芯片温度 (T_J)	165	175	185	°C
$T_{TSD_FET_HYS}$	热关断迟滞 (FET)	芯片温度 (T_J)	20	25	30	°C

(1) R_{LBK} 为电感器 L_{BK} 的阻值
(2) 如果 AVDD 关闭，则 I/O 引脚不得妨碍 SDA 和 SCL 线。
(3) SDA 和 SCL 总线的最大 tf (300ns) 长于输出级的额定最大 tof (250ns)。这允许在 SDA/SCL 引脚以及 SDA/SCL 总线之间连接串联保护电阻器 (Rs)，而不超过最大 tf 额定值。
(4) SDA 和 SCL 输入端的输入滤波器可抑制小于 50ns 的噪声尖峰。

5.6 标准和快速模式下 SDA 和 SCL 总线的特征

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
标准模式						
f_{SCL}	SCL 时钟频率		0		100	kHz
t_{HD_STA}	（重复）启动条件后的保持时间	在这段时间后，第一个时钟脉冲被生成。	4			µs
t_{LOW}	SCL 时钟的低电平周期		4.7			µs
t_{HIGH}	SCL 时钟的高电平周期		4			µs
t_{SU_STA}	重复启动条件的建立时间		4.7			µs
t_{HD_DAT}	数据保持时间 (2)	I2C 总线器件	0 (3)		(4)	µs
t_{SU_DAT}	数据建立时间		250			ns
t_r	SDA 和 SCL 信号的上升时间				1000	ns
t_f	SDA 和 SCL 信号的下降时间 (3) (6) (7) (8)				300	ns
t_{SU_STO}	停止条件的建立时间		4			µs
t_{BUF}	停止条件和启动条件之间的总线空闲时间		4.7			µs
C_b	每个总线的容性负载 (9)				400	pF
t_{VD_DAT}	数据有效时间 (10)				3.45 (4)	µs
t_{VD_ACK}	数据有效确认时间 (11)				3.45 (4)	µs
V_{nL}	低电平的噪声容限	对于每个连接的器件（包括迟滞）	0.1*AVDD			V
V_{nh}	高电平的噪声容限	对于每个连接的器件（包括迟滞）	0.2*AVDD			V
快速模式						
f_{SCL}	SCL 时钟频率		0		400	KHz
t_{HD_STA}	（重复）启动条件后的保持时间	在这段时间后，第一个时钟脉冲被生成。	0.6			µs
t_{LOW}	SCL 时钟的低电平周期		1.3			µs

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

参数		测试条件	最小值	标称值	最大值	单位
t_{HIGH}	SCL 时钟的高电平周期		0.6			μs
t_{SU_STA}	重复启动条件的建立时间		0.6			μs
t_{HD_DAT}	数据保持时间 (2)		0 (3)		(4)	μs
t_{SU_DAT}	数据建立时间		100 (5)			ns
t_r	SDA 和 SCL 信号的上升时间		20		300	ns
t_f	SDA 和 SCL 信号的下降时间 (3) (6) (7) (8)		20 x (AVDD/ 5.5V)		300	ns
t_{SU_STO}	停止条件的建立时间		0.6			μs
t_{BUF}	停止条件和启动条件之间的总线空闲时间		1.3			μs
C_b	每个总线的容性负载 (9)				400	pF
t_{VD_DAT}	数据有效时间 (10)				0.9 (4)	μs
t_{VD_ACK}	数据有效确认时间 (11)				0.9 (4)	μs
V_{nL}	低电平的噪声容限	对于每个连接的器件（包括迟滞）	0.1*AVDD			V
V_{nh}	高电平的噪声容限	对于每个连接的器件（包括迟滞）	0.2*AVDD			V

(1) 所有涉及 $V_{IH(min)}$ 和 $V_{IL(max)}$ 电平的值
(2) t_{HD_DAT} 是从 SCL 下降沿开始测量的数据保持时间，适用于传输和确认中的数据。
(3) 器件必须在内部为 SDA 信号提供至少 300ns 的保持时间（相对于 SCL 信号的 $V_{IH(min)}$）以桥接未定义的 SCL 下降沿区域。
(4) 对于标准模式和快速模式，最大 t_{HD_DAT} 可以为 3.45μs 和 0.9μs，但必须比 t_{VD_DAT} 或 t_{VD_ACK} 的最大值小一个转换时间。仅当器件不延长 SCL 信号的低电平周期 (t_{LOW}) 时才必须满足该最大值。如果时钟延长了 SCL，则数据必须在其释放时钟之前的设置时间内有效。
(5) 快速模式 I^2C 总线器件可用于标准模式 I^2C 总线系统，但必须满足 t_{SU_DAT} 250ns 的要求。如果该器件不延长 SCL 信号的低电平周期，将自动成为该情况。如果此类器件确实延长了 SCL 信号的低电平周期，则此类器件必须在释放 SCL 线之前的 $t_{r(max)} + t_{SU_DAT}$ = 1000 + 250 = 1250ns 内（根据标准模式 I^2C 总线规范）将下一个数据位输出到 SDA 线。确认时序也必须满足该建立时间。
(6) 如果与 HS 模式器件混合使用，则根据表 10 允许更短的下降时间。
(7) SDA 和 SCL 总线的最大 t_f 额定值为 300ns。SDA 输出级的最大下降时间 t_f 额定值为 250ns。这允许在 SDA 和 SCL 引脚以及 SDA/SCL 总线之间连接串联保护电阻器，而不超过最大 t_f 额定值。
(8) 在超快速模式下，输出级和总线时序的下降时间具有相同的额定值。如果使用串联电阻器，则设计人员在考虑总线时序时应确保实现这一点。
(9) 允许的最大总线电容可能会有所不同，具体取决于应用的实际工作电压和频率。
(10) t_{VD_DAT} = 数据信号从 SCL 低电平到 SDA 输出（高电平或低电平，取决于哪个更差）的时间。
(11) t_{VD_ACK} = 确认信号从 SCL 低电平到 SDA 输出（高电平或低电平，取决于哪个更差）的时间。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6 详细说明

6.1 概述

MCT8316A-Q1 为需要高速运行（电气速度高达 3kHz）或极快启动时间 (< 50ms) 的客户提供了一个单芯片、无代码、无传感器梯形解决方案，适用于峰值相电流高达 8A 的 12V 至 24V 无刷直流电机。

MCT8316A-Q1 集成了三个 1/2H 桥，具有 40V 的绝对最大电压和 95mΩ 的超低 $R_{DS(ON)}$（高侧 + 低侧），可提供大功率驱动能力。使用集成电流检测电路来检测电流，无需外部电流检测电阻器。可调降压稳压器和 LDO 的电源管理性能为器件生成必要的电压轨，可用于为外部电路供电。

从电机启动行为到闭环运行，通过寄存器设置可为无传感器梯形控制实现很高的可配置性。这些设置可存储在非易失性 EEPROM 中，从而允许器件在配置后独立运行。MCT8316A-Q1 允许进行高级监测；可以通过两个 12 位 DAC 作为模拟输出来显示和观察算法中的任何变量。该功能提供了一种有效的方法来调整速度环路和电机加速。该器件通过 PWM 输入、模拟电压、频率输入或 I^2C 命令接收速度命令。

内置保护特性包括电源欠压锁定 (UVLO)、电荷泵欠压锁定 (CPUV)、过流保护 (OCP)、AVDD 欠压锁定 (AVDD_UV)、降压稳压器 UVLO、电机锁定检测以及过热警告和关断（OTW 和 TSD）。故障事件由 nFAULT 引脚指示，可从寄存器获取详细故障信息。

MCT8316A-Q1 器件采用 0.5mm 引脚间距、可湿性侧面 VQFN 表面贴装封装。VQFN 封装尺寸为 7mm × 5mm，高度为 1mm。

6.2 功能方框图

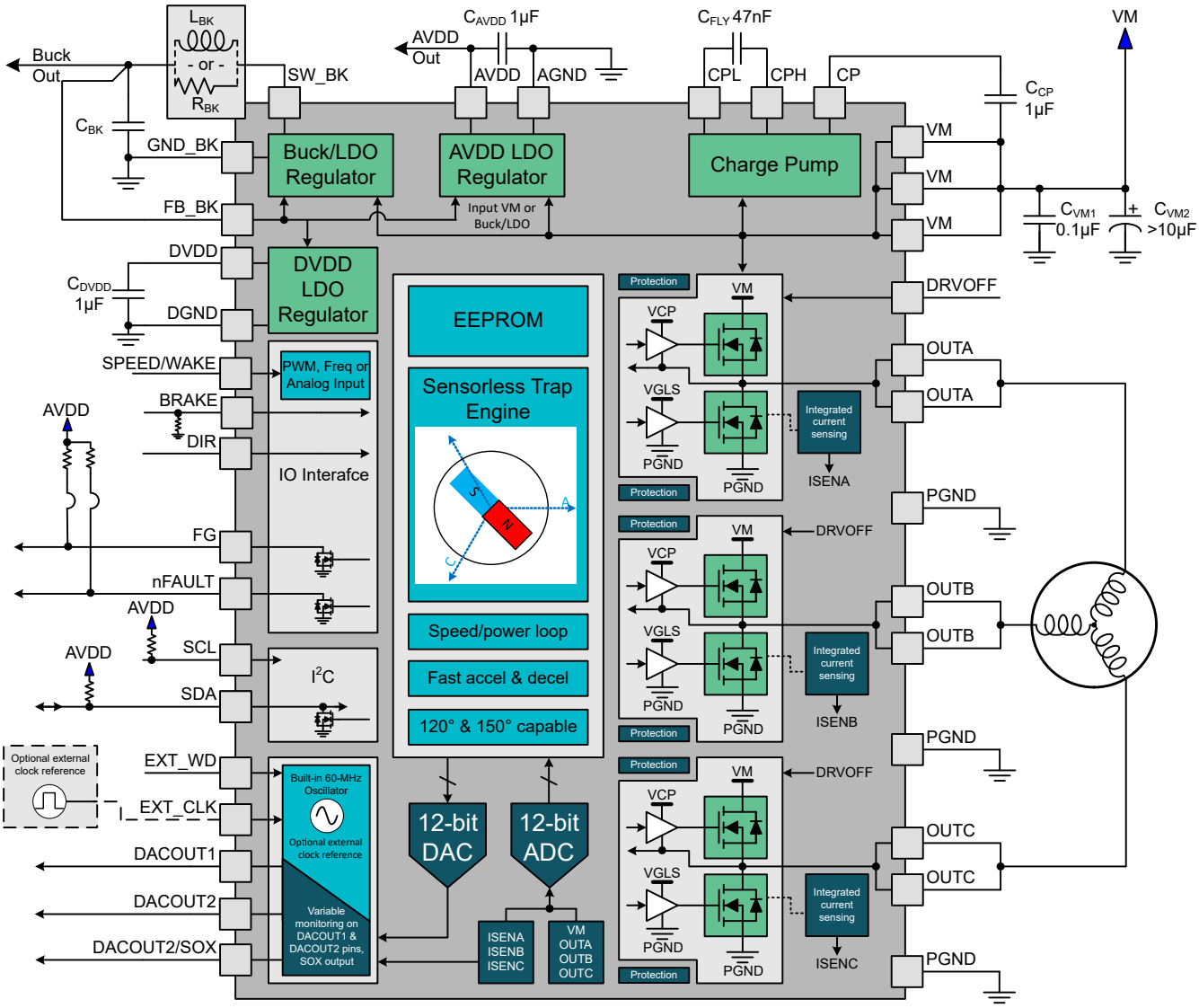


图 6-1. MCT8316A-Q1 功能方框图

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3 特性说明

6.3.1 输出级

MCT8316A-Q1 包含以三相桥配置连接的集成式 95mΩ（高侧和低侧 FET 的导通状态电阻之和）NMOS FET。倍增电荷泵可在宽工作电压范围内为高侧 NMOS FET 提供适合的栅极偏置电压，此外还提供 100% 占空比支持。内部线性稳压器为低侧 MOSFET 提供栅极偏置电压。

6.3.2 器件接口模式

MCT8316A-Q1 支持 I²C 接口，可为终端应用设计提供足够的灵活性。MCT8316A-Q1 允许通过 BRAKE、DIR、DRVOFF、EXT_CLK、EXT_WD 和 SPEED/WAKE 引脚来控制电机运行和系统。MCT8316A-Q1 还通过 DACOUT1、DACOUT2、FG、nFAULT 和 SOX 引脚提供不同的信号，用于监控算法变量、速度、故障和相电流反馈。

6.3.2.1 接口 - 控制和监控

电机控制信号

- 当 BRAKE 引脚被驱动为“高电平”时，MCT8316A-Q1 进入制动状态。在该制动状态期间会实现低侧制动（请参阅 低侧制动 ）。在进入制动状态之前，MCT8316A-Q1 会将输出速度降低至由 BRAKE_DUTY_THRESHOLD 定义的值。只要 BRAKE 驱动为“高电平”，MCT8316A-Q1 就会保持在制动状态。可以通过使用 I²C 接口配置 BRAKE_INPUT 来覆盖制动引脚输入。
- DIR 引脚决定电机旋转的方向；在驱动为“高电平”时，序列为 OUT A → OUT C → OUT B，在驱动为“低电平”时，序列为 OUT A → OUT B → OUT C。可以通过使用 I²C 接口配置 DIR_INPUT 来覆盖 DIR 引脚输入。
- 当 DRVOFF 引脚驱动为“高电平”时，MCT8316A-Q1 会通过关断所有 MOSFET（滑行状态）来停止驱动电机。当 DRVOFF 驱动为“低电平”时，MCT8316A-Q1 会返回至正常运行状态，就像重新启动电机一样（请参阅 DRVOFF 功能 ）。DRVOFF 不会使器件进入睡眠或待机模式；数字内核仍在运行。进入和退出睡眠或待机状态由 SPEED 引脚进行控制。
- SPEED/WAKE 引脚用于控制电机转速并将 MCT8316A-Q1 从睡眠状态唤醒。SPEED 引脚可配置为接受 PWM、频率或模拟输入信号。该引脚用于进入和退出睡眠和待机模式（请参阅表 6-3）。

外部振荡器和看门狗信号（可选）

- EXT_CLK 引脚可用来提供外部时钟基准（请参阅 外部时钟源 ）。
- EXT_WD 引脚可用来提供外部看门狗信号（请参阅 外部看门狗 ）。

输出信号

- DACOUT1 输出由寄存器 DACOUT1_VAR_ADDR 中的地址定义的内部变量，在每个 PWM 周期刷新 DACOUT1 的输出（请参阅 DAC 输出 ）。
- DACOUT2 输出由寄存器 DACOUT2_VAR_ADDR 中的地址定义的内部变量，在每个 PWM 周期刷新 DACOUT2 的输出（请参阅 DAC 输出 ）。
- FG 引脚提供与电机转速成正比的脉冲（请参阅 FG 配置 ）。
- nFAULT 引脚提供器件或电机运行中的故障状态。
- SOX 引脚提供其中一个电流检测放大器的输出。

6.3.2.2 I²C 接口

MCT8316A-Q1 支持 I²C 串行通信接口，允许外部控制器发送和接收数据。该 I²C 接口支持外部控制器配置 EEPROM 并读取详细的故障和电机状态信息。I²C 总线是一个使用 SCL 和 SDA 引脚的两线制接口，下面对此进行了说明：

- SCL 引脚是时钟信号输入。
- SDA 引脚是数据输入和输出。

6.3.3 混合模式降压稳压器

MCT8316A-Q1 具有一个集成式混合模式降压稳压器，可与 AVDD 结合来为外部控制器或系统电压轨提供 3.3V 或 5V 稳压电源。此外，降压输出还可以配置为 4V 或 5.7V 以支持外部 LDO 的额外余量，用于生成 3.3V 或 5V 电源。降压的输出电压由 BUCK_SEL 设置。

降压稳压器在轻负载期间具有约 1mA - 2mA 的低静态电流，可延长电池寿命。该器件通过实施脉冲频率电流模式控制方案来提高在线路和负载瞬态期间的性能，该方案要求更小的输出电容并简化了频率补偿设计。

表 6-1. 降压稳压器的建议设置

降压模式	降压输出电压	来自 AVDD 的最大输出电流 (I_{AVDD_MAX})	来自降压的最大输出电流 (I_{BK_MAX})	降压电流限制	AVDD 电源时序
电感器 - 47 µ H	3.3V 或 4V	20mA	170mA - I_{AVDD}	600mA (BUCK_CL = 0b)	不支持 (BUCK_PS_DIS = 1b)
电感器 - 47 µ H	5V 或 5.7V	20mA	170mA - I_{AVDD}	600mA (BUCK_CL = 0b)	支持 (BUCK_PS_DIS = 0b)
电感器 - 22 µ H	5V 或 5.7V	20mA	20mA - I_{AVDD}	150mA (BUCK_CL = 1b)	不支持 (BUCK_PS_DIS = 1b)
电感器 - 22 µ H	3.3V 或 4V	20mA	20mA - I_{AVDD}	150mA (BUCK_CL = 1b)	支持 (BUCK_PS_DIS = 0b)
电阻器 - 22 Ω	5V 或 5.7V	20mA	10mA - I_{AVDD}	150mA (BUCK_CL = 1b)	不支持 (BUCK_PS_DIS = 1b)
电阻器 - 22 Ω	3.3V 或 4V	20mA	10mA - I_{AVDD}	150mA (BUCK_CL = 1b)	支持 (BUCK_PS_DIS = 0b)

6.3.3.1 以电感器模式降压

MCT8316A-Q1 器件中的降压稳压器主要用于支持 47µH 和 22µH 电感器的低电感。47µH 电感器支持降压稳压器以高达 170mA 的负载电流运行，而需要高达 20mA 电流的应用可以使用 22µH 电感器，从而节省元件尺寸。

图 6-2 展示了电感器模式下降压稳压器的连接。

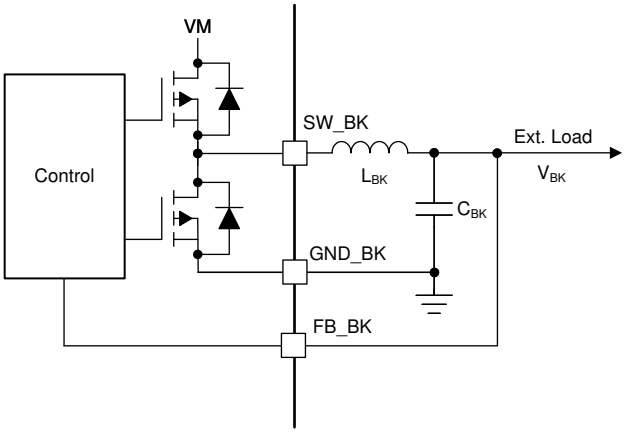


图 6-2. 降压（电感器模式）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.3.2 以电阻器模式降压

如果外部负载要求低于 10mA，则可以用电阻器代替电感器。在电阻器模式下，功率在外部电阻器两端耗散，并且效率低于电感器模式下的降压。

图 6-3 展示了电阻器模式下降压的连接。

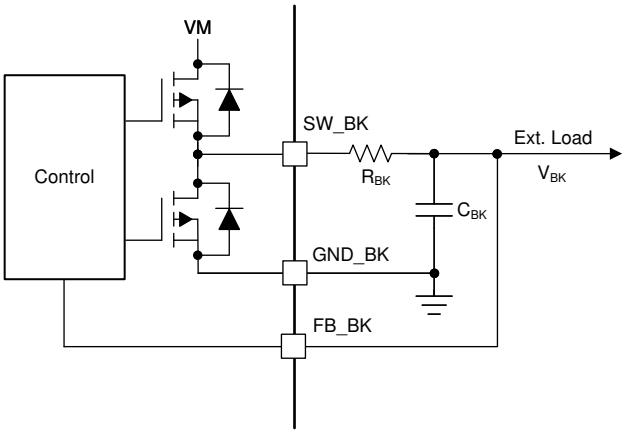


图 6-3. 降压（电阻器模式）

6.3.3.3 具有外部 LDO 的降压稳压器

降压稳压器还支持向外部 LDO 供电以生成精度更高的标准 3.3V 或 5V 输出轨的电压要求。降压输出电压应配置为 4V 或 5.7V 以提供额外的余量，从而支持外部 LDO 来生成 3.3V 或 5V 电压轨，如图 6-4 所示。这样就可以采用电压较低的 LDO 设计来节省成本，并由于压降电压较低而实现更好的热管理。

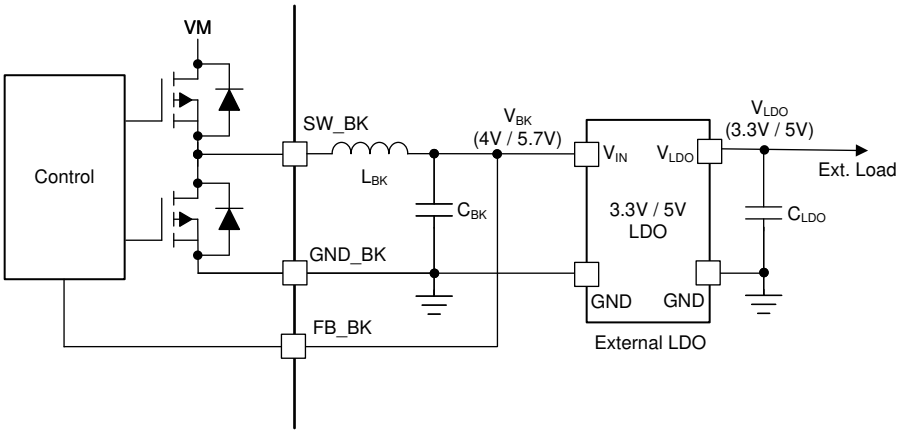


图 6-4. 具有外部 LDO 的降压稳压器

6.3.3.4 降压稳压器上的 AVDD 电源时序

AVDD LDO 可以选择使用混合模式降压稳压器提供的电源来降低器件功率耗散。电源时序模式可实现 AVDD LDO 输入从直流电源 (VM) 到降压输出 (V_{BK}) 的动态转换，如图 6-5 所示。该时序可通过 BUCK_PS_DIS 位进行配置。仅当降压输出电压设置为 5V 或 5.7V 时，才支持电源时序。

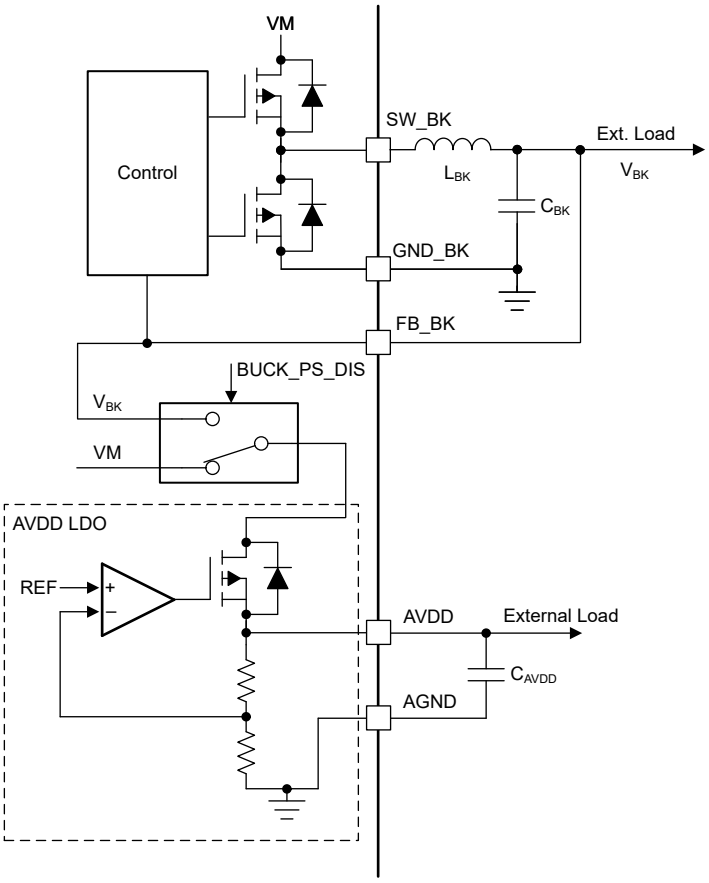


图 6-5. 混合模式降压稳压器中的 AVDD 电源时序

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.3.5 混合模式降压运行和控制

降压稳压器采用具有峰值电流模式控制的脉冲频率调制 (PFM) 架构。降压稳压器的输出电压与内部基准电压 (V_{BK_REF}) 进行比较，内部基准电压是在内部生成的，具体取决于构成外部电压控制环路的降压输出电压设置 (BUCK_SEL)。根据比较器输出变为高电平 ($V_{BK} < V_{BK_REF}$) 还是低电平 ($V_{BK} > V_{BK_REF}$)，降压的高侧电源 FET 分别导通和关断。一个独立的电流控制环路监控高侧功率 FET 中的电流 (I_{BK})，并在电流变为高于降压电流限制 (I_{BK_CL}) 时关断高侧 FET。这样可实现降压稳压器的电流限制控制。图 6-6 展示了降压和各种控制/保护环路的架构。

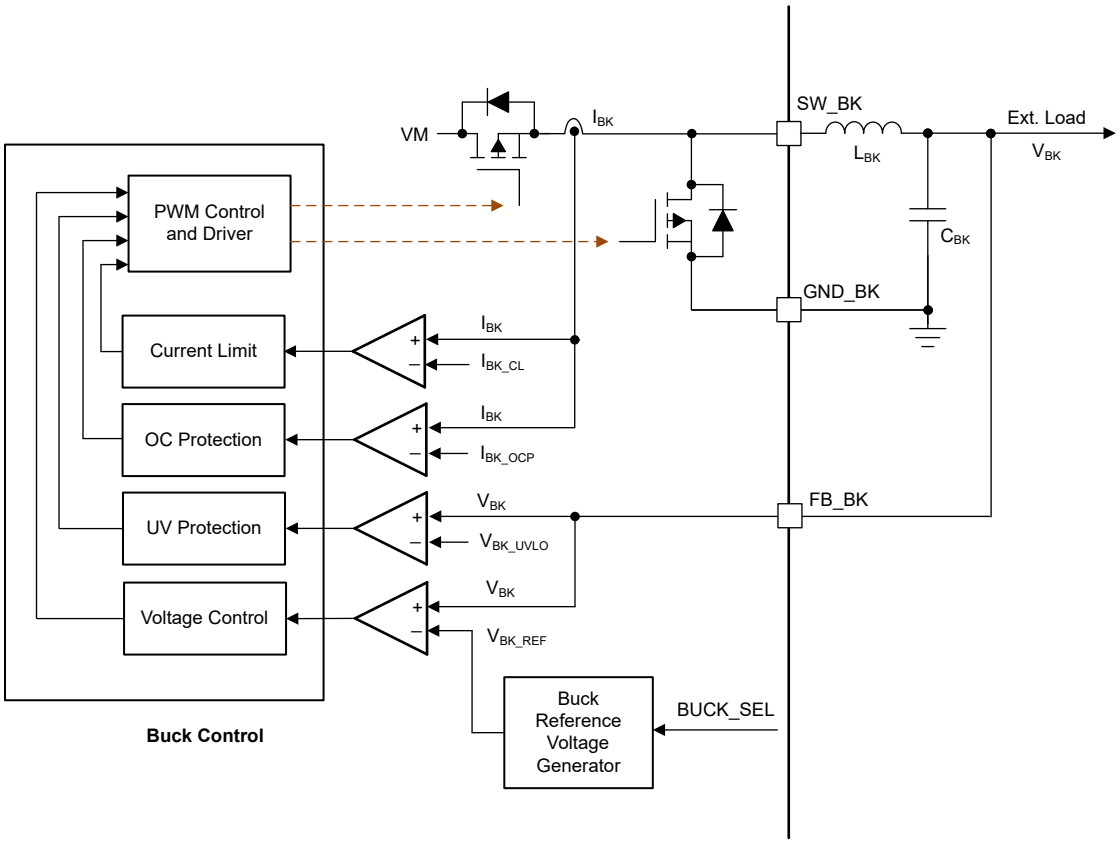


图 6-6. 降压运行和控制环路

6.3.3.6 降压欠压保护

如果在任何时候，FB_BK 引脚上的电压（降压稳压器输出）降至低于 V_{BK_UVLO} 阈值，则将禁用降压稳压器的高侧和低侧 MOSFET。只要发生降压 UV 事件，MCT8316A-Q1 就会进入复位状态，因为 MCT8316A-Q1 中的内部电路由降压稳压器输出供电。

6.3.3.7 降压过流保护

可以通过监测流经降压稳压器的高侧 MOSFET 的电流来检测降压过流事件。如果流经高侧 MOSFET 的电流超过 I_{BK_OCP} 阈值的时间长于抗尖峰脉冲时间 (t_{OCP_DEG})，则会识别出降压 OCP 事件。只要发生降压 OCP 事件，MCT8316A-Q1 就会进入复位状态，因为 MCT8316A-Q1 中的内部电路由降压稳压器输出供电。

6.3.4 AVDD 线性稳压器

MCT8316A-Q1 系列器件中集成了一个 3.3V 线性稳压器，可供外部电路使用。AVDD LDO 稳压器用于为器件的内部电路供电，此外，该稳压器还可以为低功耗 MCU 或其他支持低电流（高达 20mA）的电路提供电源电压。AVDD 稳压器的输出应在 AVDD 引脚附近旁路，通过一个 X5R 或 X7R、1μF、6.3V 陶瓷电容器直接连接回至相邻的 AGND 接地引脚。

AVDD 标称空载输出电压为 3.3V。

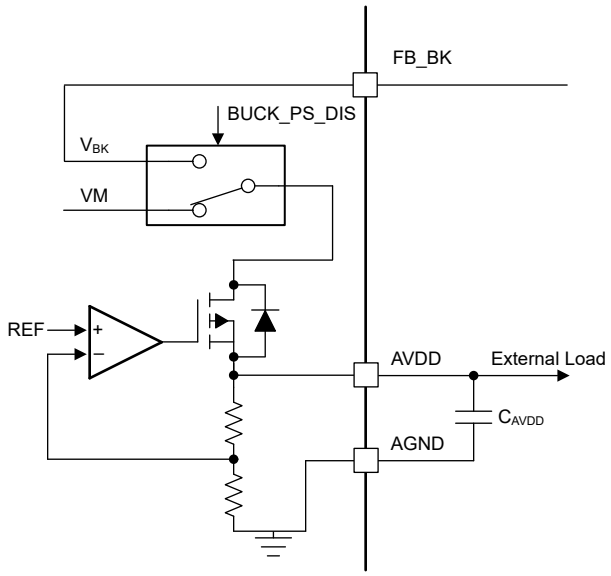


图 6-7. AVDD 线性稳压器方框图

可以使用方程式 1 来计算以 VM 作为电源的 AVDD 线性稳压器在器件中耗散的功率 (BUCK_PS_DIS = 1b)

$$P = (V_{VM} - V_{AVDD}) \times I_{AVDD} \tag{1}$$

例如，当 V_{VM} 为 24V 时，从 AVDD 汲取 20mA 的电流会导致方程式 2 所示的功率耗散。

$$P = (24\ V - 3.3\ V) \times 20\ mA = 414\ mW \tag{2}$$

可以使用方程式 3 来计算以降压输出作为电源的 AVDD 线性稳压器在器件中耗散的功率 (BUCK_PS_DIS = 0b)

$$P = (V_{FB_BK} - V_{AVDD}) \times I_{AVDD} \tag{3}$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.5 电荷泵

由于输出级使用 N 沟道 FET，因此该器件需要高于 VM 电源的栅极驱动电压才能导通高侧 FET。MCT8316A-Q1 集成了一个电荷泵电路，可为此目的生成高于 VM 电源的电压。

电荷泵需要两个外部电容器（C_{CP}、C_{FLY}）才能运行。有关这些电容器的详细信息（值、连接等），请参阅方框图和引脚说明。

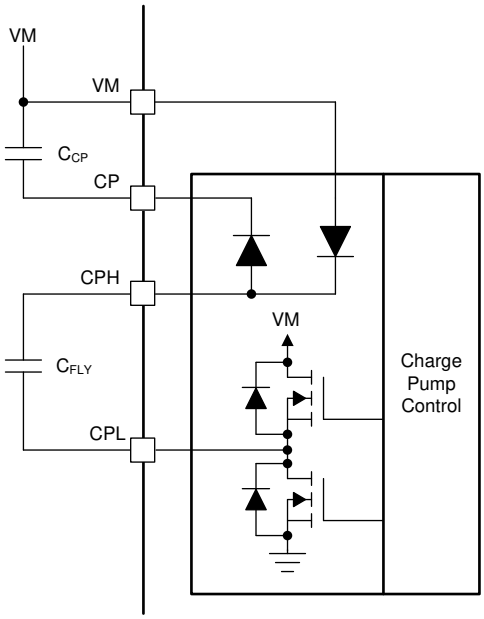


图 6-8. 电荷泵

6.3.6 压摆率控制

为输出级 MOSFET 提供可调栅极驱动电流控制，以实现可配置的压摆率，从而降低 EMI。MOSFET VDS 压摆率是优化辐射发射、二极管恢复尖峰的总能量和持续时间以及与 PCB 寄生元件相关的开关电压瞬态的关键因素。此压摆率主要由内部 MOSFET 栅极电流的控制决定，如图 6-9 所示。

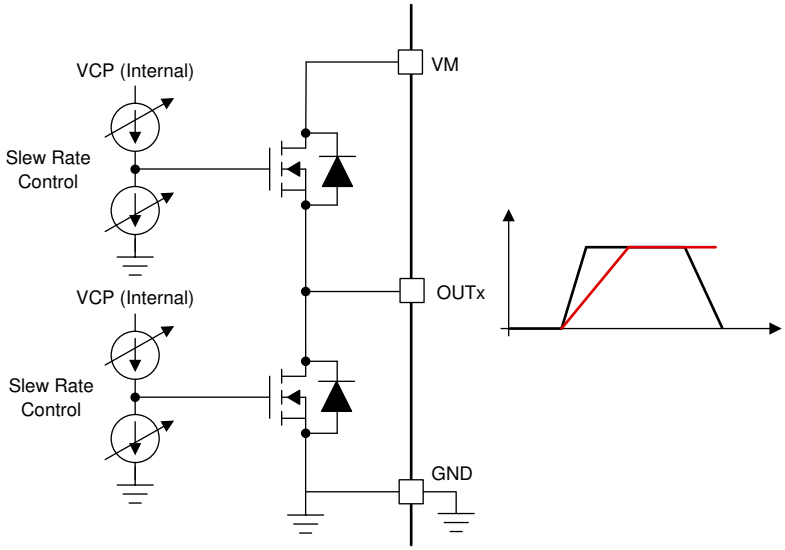


图 6-9. 压摆率电路实现

每个半桥的压摆率可通过 SLEW_RATE 设置进行调节。压摆率可配置为 25V/μs、50V/μs、125V/μs 或 200V/μs。压摆率根据 OUTx 引脚电压的上升时间和下降时间计算得出，如图 6-10 所示。

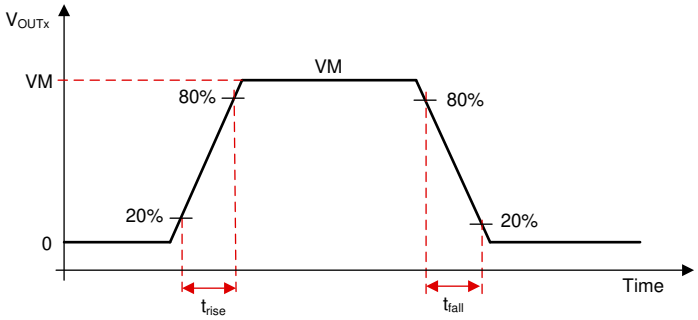


图 6-10. 压摆率时序

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.7 跨导（死区时间）

该器件针对 MOSFET 的任何跨导提供全面保护。通过插入死区时间 (t_{dead}) 可确保精密控制高侧和低侧 MOSFET，从而避免发生任何击穿事件。实现方法是通过检测高侧和低侧 MOSFET 的栅源电压 (VGS) 并确保高侧 MOSFET 的 VGS 已达到关断电平以下，然后再将同一半桥的低侧 MOSFET 导通，如图 6-11 和图 6-12 所示，反之亦然。

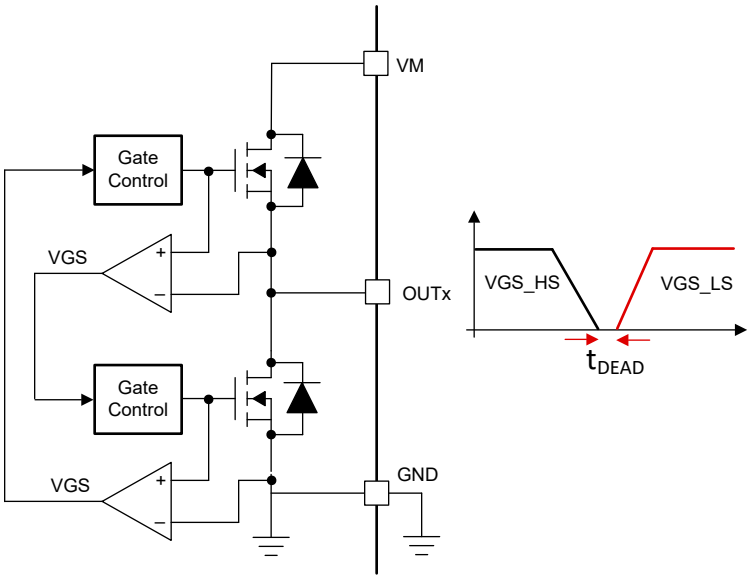


图 6-11. 跨导保护

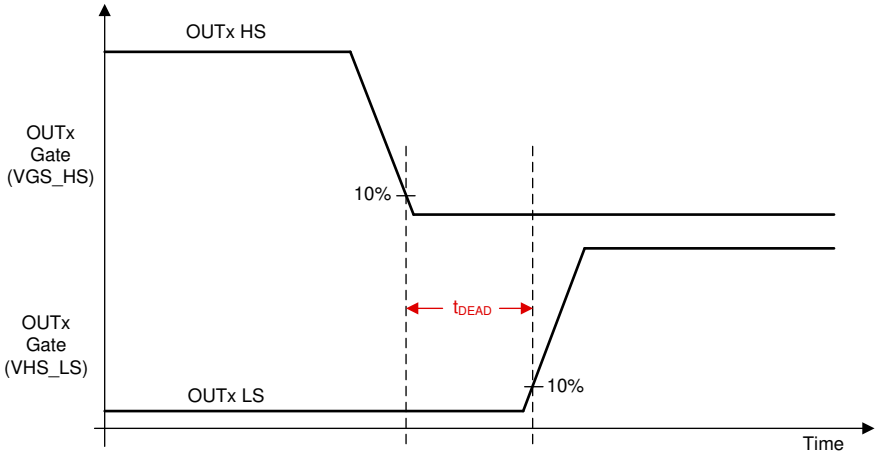


图 6-12. 死区时间

6.3.8 SPEED 控制

MCT8316A-Q1 提供四种直接控制电机速度的方法。通过 SPD_CTRL_MODE 配置速度控制方法。可通过以下四种方式之一来控制速度命令。

- SPEED 引脚上的 PWM 输入，改变输入信号的占空比
- SPEED 引脚上的频率输入，改变输入信号的频率
- SPEED 引脚上的模拟输入，改变输入信号的振幅
- 使用 I²C，通过配置 SPEED_CTRL

也可以通过改变电源电压 (V_M) 来间接控制速度。

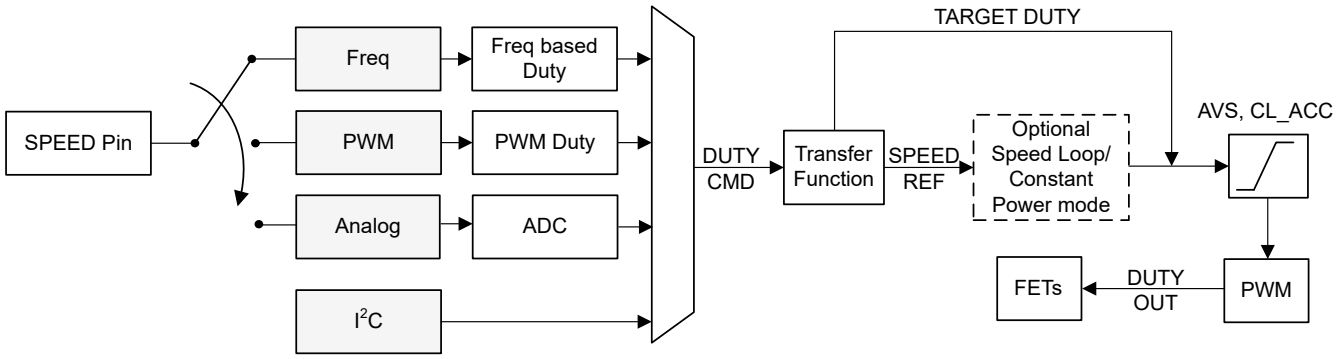


图 6-13. 多路复用速度命令

从 SPEED 引脚输入（或基于 I²C 的速度输入）到应用于 FET 的输出占空比 (DUTY OUT) 的信号路径如图 6-13 所示。

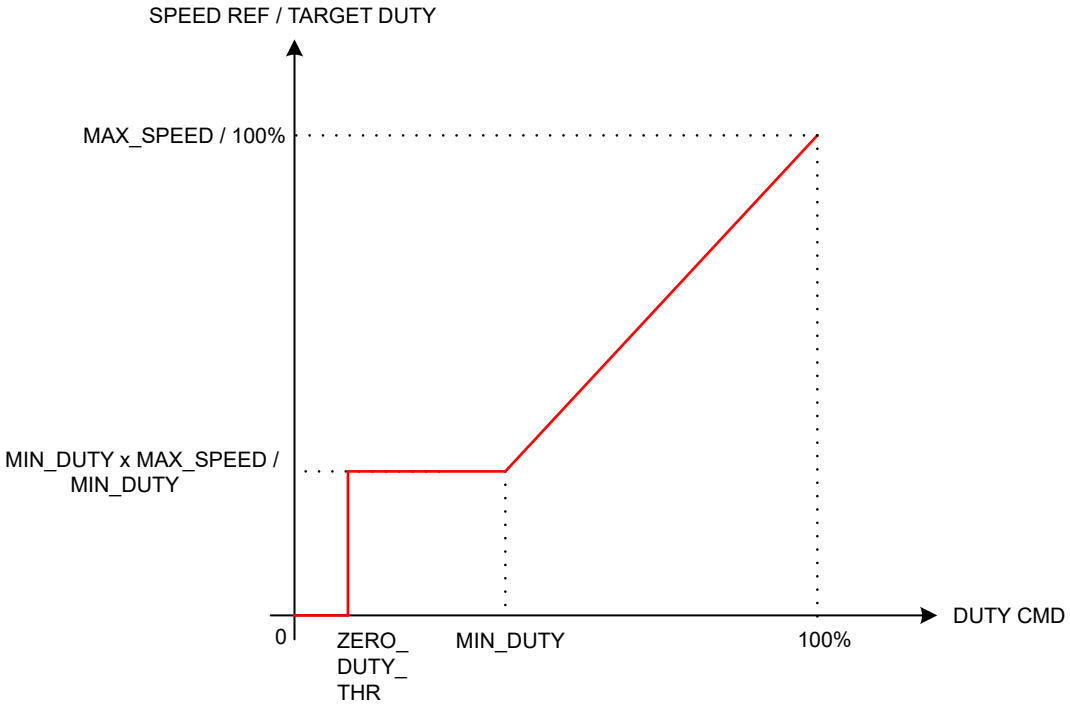


图 6-14. 速度输入传递函数

图 6-14 展示了 DUTY CMD 和 SPEED REF/TARGET DUTY 之间的关系。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

启用速度环路后，DUTY CMD 以 Hz 为单位设置 SPEED REF。MAX_SPEED 设置与 100% 的 DUTY CMD 对应的 SPEED REF。MIN_DUTY 设置最小 SPEED REF (MIN_DUTY x MAX_SPEED)。对于 ZERO_DUTY_THR < DUTY CMD < MIN_DUTY 的情况，SPEED REF 保持钳位在 (MIN_DUTY x MAX_SPEED)。

禁用速度环路时，DUTY CMD 会按百分比来设置 TARGET DUTY - 当 DUTY CMD 为 100% 时，TARGET DUTY 设置为 100%，当 DUTY CMD 设置为 MIN_DUTY 时，TARGET DUTY 等于 MIN_DUTY。对于 ZERO_DUTY_THR < DUTY CMD < MIN_DUTY 的情况，TARGET DUTY 保持钳位在 MIN DUTY。

ZERO_DUTY_THR 设置 DUTY CMD 的下限阈值，低于此值时，SPEED REF/TARGET DUTY（速度环路启用/禁用）设置为零，电机处于停止状态。AVS、CL_ACC 配置 DUTY OUT 的瞬态特性；直接通过 TARGET DUTY（禁用速度环路时）或通过 SPEED REF（启用速度环路时）配置 DUTY OUT 的稳态值（采用 % 形式）。

6.3.8.1 模拟模式速度控制

可以通过将 SPD_CTRL_MODE 设置为 00b 来配置基于模拟输入的速度控制。在此模式下，占空比命令 (DUTY CMD) 随 SPEED 引脚上的模拟电压输入 (V_{SPEED}) 而变化。当 0 < V_{SPEED} < V_{EN_SB} 时，DUTY CMD 被设置为零，电机停止。当 V_{EN_SB} < V_{SPEED} < V_{ANA_FS} 时，DUTY CMD 随 V_{SPEED} 以线性方式变化，如图 6-15 所示。当 V_{SPEED} > V_{ANA_FS} 时，DUTY CMD 被钳位至 100%。

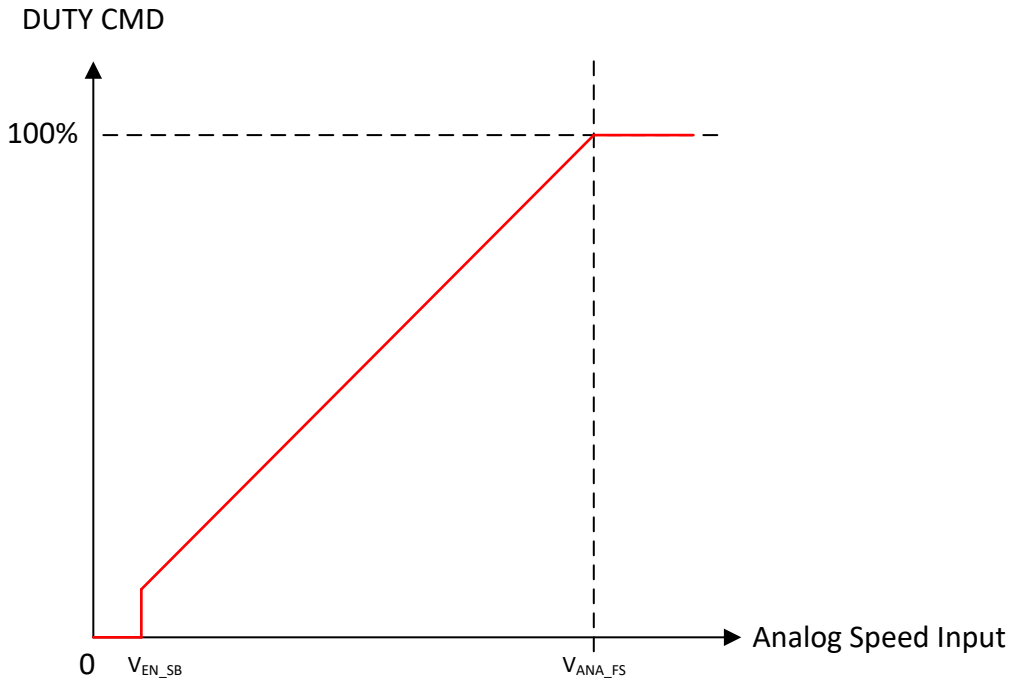


图 6-15. 模拟模式速度控制

6.3.8.2 PWM 模式速度控制

可以通过将 SPD_CTRL_MODE 设置为 01b 来配置基于 PWM 的速度控制。在该模式下，应用于 SPEED 引脚的 PWM 占空比可在 0% 和 100% 之间变化，占空比命令 (DUTY CMD) 随应用的 PWM 占空比线性变化。当 SPEED 引脚上的 PWM 信号保持小于 V_{DIG_IL} 的持续时间大于 $t_{EN_SB_PWM}$ 时，DUTY CMD 被设置为零，电机停止。施加到 SPEED 引脚的 PWM 输入信号的频率被定义为 f_{PWM}，该频率的范围可通过 SPD_PWM_RANGE_SELECT 进行配置。

备注

f_{PWM} 是器件可以在 SPEED 引脚上接受的用于控制电机速度的 PWM 信号频率。它与应用于电机相位的 PWM 输出频率不对应。可以通过 PWM_FREQ_OUT 来配置 PWM 输出频率（请参阅节 6.3.15）。

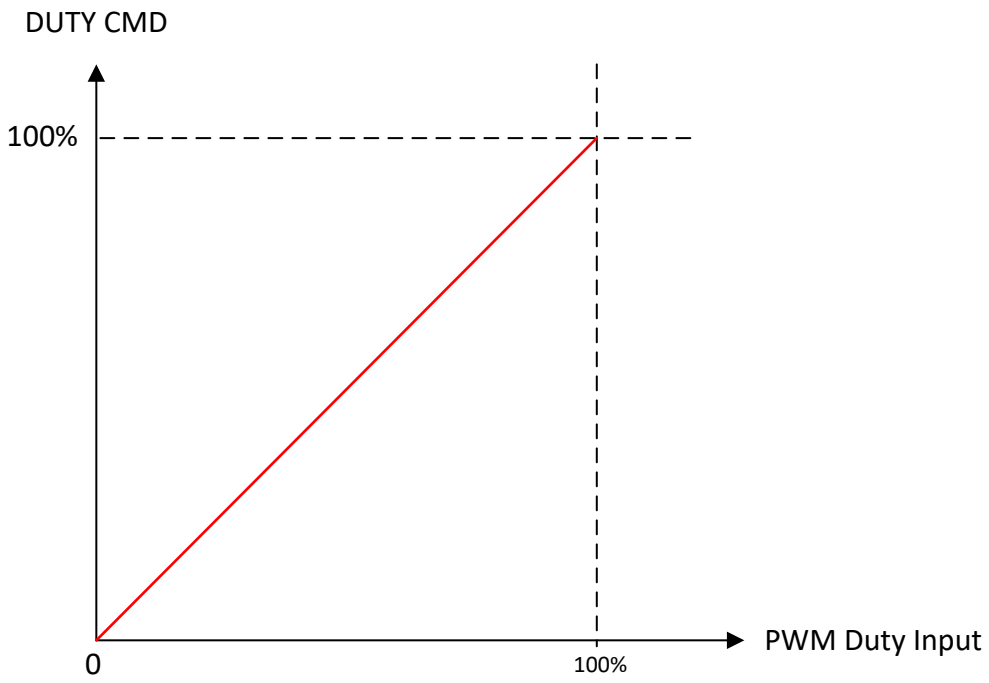


图 6-16. PWM 模式速度控制

6.3.8.3 基于 I²C 的速度控制

通过将 SPD_CTRL_MODE 设置为 10b，可以使用基于 I²C 的串行接口来实现速度控制。在该模式下，可以将占空比命令直接写入 SPEED_CTRL。如果 SPEED 引脚输入小于 V_{EN_SL} 的时间长于 SLEEP_TIME，且 SPEED_CTRL 设置为零，则 MCT8316A-Q1 会进入睡眠状态。当 SPEED 引脚大于 V_{EX_SL} 时，MCT8316A-Q1 会退出睡眠状态，并通过 SPEED_CTRL 来控制速度。如果 SPEED_CTRL 设置为零且 SPEED 引脚大于 V_{EX_SL}，则 MCT8316A-Q1 处于待机状态。

6.3.8.4 频率模式速度控制

可以通过将 SPD_CTRL_MODE 设置为 11b 来配置基于频率的速度控制。在该模式下，占空比命令作为 SPEED 引脚方波输入的函数呈线性变化，如方程式 4 所示。大于 INPUT_MAX_FREQUENCY 的输入频率会将占空比命令钳制为 100%。当 SPEED 引脚上的频率信号保持小于 V_{DIG_IL} 的持续时间长于 $t_{EN_SB_FREQ}$ 时，占空比命令被设置为零，电机停止。

$$\text{Duty command} = \text{Frequency at SPEED pin} / \text{INPUT_MAX_FREQUENCY} * 100 \quad (4)$$

6.3.9 在不同初始条件下启动电机

当 MCT8316A-Q1 开始启动过程时，电机可能处于三种状态之一。电机可能静止、正向旋转或反向旋转。MCT8316A-Q1 包含大量的功能，用于确保在所有这些条件下实现可靠的电机启动。图 6-17 展示了这三种初始电机状态中每种状态的电机启动流程。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

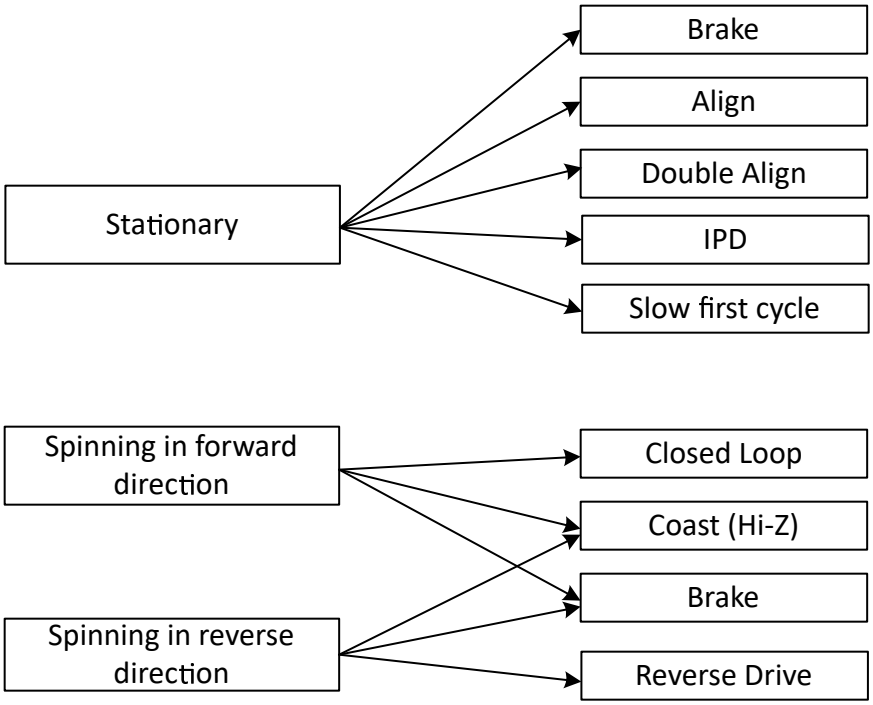


图 6-17. 在不同初始条件下启动电机

备注

“正向”表示“以与命令方向相同的方向旋转”，“反向”表示“以与命令方向相反的方向旋转”。

6.3.9.1 案例 1 – 电机静止

如果电机静止，则换向必须初始化为与电机的位置同相。MCT8316A-Q1 提供各种选项来将换向逻辑初始化为电机位置并可靠地启动电机。

- 对齐和双对齐技术通过在特定电机相位上施加电压来迫使电机与该相位对齐旋转，从而强制电机对齐。
- 初始位置检测 (IPD) 根据确定性电感变化来确定电机的位置，这通常出现在 BLDC 电机中。
- 慢速首循环方法通过应用低频周期来启动电机，以在一次电气旋转结束时将转子位置与应用的换向对齐。

MCT8316A-Q1 还提供可配置的制动选项，以确保电机在发起上述启动方法之一之前处于静止状态。器件执行配置的启动方法后进入开环加速。

6.3.9.2 案例 2 – 电机正向旋转

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 MCT8316A-Q1 与正在旋转的电机重新同步并通过直接进入闭环运行继续换向。通过与正在旋转的电机重新同步，用户可以在该初始条件下实现尽可能短的启动时间。可以通过 RESYNC_EN 启用或禁用该重新同步功能。如果重新同步被禁用，则 MCT8316A-Q1 可以配置为等待电机滑行停止和/或施加制动。电机停止旋转后，考虑到电机处于静止状态，电机启动顺序与情况 1 相同。

6.3.9.3 案例 3 – 电机反向旋转

如果电机正在反向旋转（与命令的方向相反），则 MCT8316A-Q1 提供了几种方法来改变方向并将电机驱动至命令方向上的目标基准。

反向驱动方法允许对电机进行相应的驱动，从而使其减速至零速，然后反向加速。电机在反向旋转时可实现最短的启动时间。

如果未启用反向驱动，则 MCT8316A-Q1 可配置为等待电机滑行停止和/或施加制动。电机停止旋转后，考虑到电机处于静止状态，电机启动顺序与情况 1 相同。

备注

使用反向驱动或制动功能时要小心，以确保电流限值在可接受的水平，并且电源电压不会因能量返回至电源而产生浪涌。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.10 电机启动顺序 (MSS)

图 6-18 展示了 MCT8316A-Q1 器件中实现的电机启动序列。

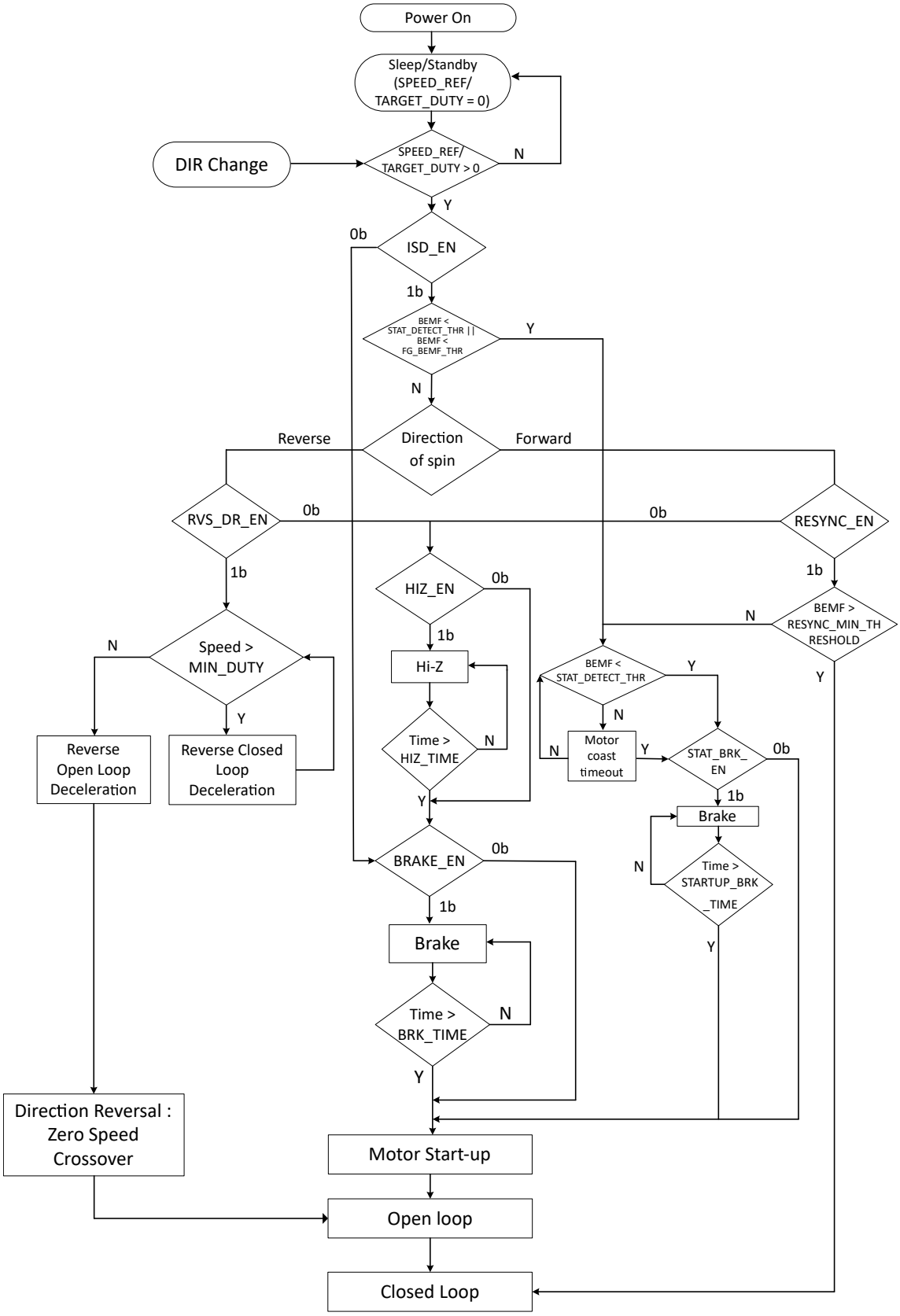


图 6-18. 电机启动序列

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

上电状态	这是 MCT8316A-Q1 上电时电机启动序列 (MSS) 的初始状态。在此状态下，MCT8316A-Q1 配置外设，从 EEPROM 初始化算法参数，并准备驱动电机。
睡眠/待机	在此状态下，SPEED_REF/POWER_REF/TARGET_DUTY 设置为零，并且 MCT8316A-Q1 处于睡眠或待机模式，具体取决于 DEV_MODE 和 SPEED/WAKE 引脚电压。
SPEED_REF/POWER_REF/TARGET_DUTY > 0 判断	当 SPEED_REF/POWER_REF/TARGET_DUTY 设置为大于零时，MCT8316A-Q1 退出休眠/待机状态，进入 ISD_EN 判断。只要 SPEED_REF 设置为零， MCT8316A-Q1 就会保持睡眠/待机状态。
ISD_EN 判断	MCT8316A-Q1 检查初始速度检测 (ISD) 功能是否已启用 (ISD_EN = 1b)。如果启用了 ISD，则 MSS 执行 BEMF < STAT_DETECT_THR 判断。相反，如果禁用了 ISD，则 MSS 直接进行 BRAKE_EN 判断。
BEMF < STAT_DETECT_THR 或 BEMF < FG_BEMF_THR 判断	ISD 确定电机的初始状态（速度、角度、旋转方向）（请参阅节 6.3.10.1）。如果电机被认为是静止的（BEMF < STAT_DETECT_THR 或 BEMF < FG_BEMF_THR），则 MSS 进行第二个 BEMF < STAT_DETECT_THR 判断。如果电机不是静止的，则 MSS 会继续验证旋转方向。
旋转方向判断	MSS 确定电机是正向旋转还是反向旋转。如果电机正向旋转，则 MCT8316A-Q1 进行 RESYNC_EN 判断。如果电机反向旋转，则 MSS 继续进行 RVS_DR_EN 判断。
RESYNC_EN 判断	如果 RESYNC_EN 设置为 1b，则 MCT8316A-Q1 进行 BEMF > RESYNC_MIN_THRESHOLD 判断。如果 RESYNC_EN 被设置为 0b，则 MSS 继续进行 HIZ_EN 判断。
BEMF > RESYNC_MIN_THRESHOLD 判断	如果电机速度使 BEMF > RESYNC_MIN_THRESHOLD，则 MCT8316A-Q1 使用来自 ISD 的速度和位置信息转换至闭环状态（请参阅节 6.3.10.2）。如果 BEMF < RESYNC_MIN_THRESHOLD，则 MCT8316A-Q1 进行 BEMF < STAT_DETECT_THR 判断。
BEMF < STAT_DETECT_THR 判断	如果电机速度使得 BEMF > STAT_DETECT_THR，则 MCT8316A-Q1 将进入电机滑行超时。如果 BEMF < STAT_DETECT_THR，MCT8316A-Q1 进行 STAT_BRK_EN 判断。
电机滑行超时	MCT8316A-Q1 等待 200000 个 PWM 周期，让电机滑行减到 BEMF < STAT_DETECT_THR 的速度；在电机滑行状态下经过 200000 个 PWM 周期后，MCT8316A-Q1 进行 STAT_BRK_EN 判断，与 BEMF 无关。如果在电机在 200000 周期超时之前滑行期间 BEMF < STAT_DETECT_THR，MCT8316A-Q1 立即进行 STAT_BRK_EN 判断。
STAT_BRK_EN 判断	MSS 检查是否启用了静止制动功能 (STAT_BRK_EN =1b)。如果启用了静止制动功能，则 MSS 前进到静止制动例程。如果禁用了静止制动功能，则 MSS 前进到电机启动状态（请参阅节 6.3.10.4）。
静止制动例程	静止制动例程可用于确保电机在尝试启动电机之前完全静止。可以通过在 STARTUP_BRK_TIME 配置的时间内导通全部三个低侧驱动器 MOSFET 来应用静止制动。
RVS_DR_EN 判断	MSS 检查是否启用了反向驱动功能 (RVS_DR_EN = 1b)。如果启用了该功能，则 MSS 将转换为反向检查电机速度。如果未启用反向驱动功能 (RVS_DR_EN = 0b)，则 MSS 会前进到 HIZ_EN 判断。
速度 > MIN_DUTY 判断	MSS 检查速度（反向）是否高于 MIN_DUTY 处的速度 - 在速度（反向）高于 MIN_DUTY 处的速度之前，MSS 保持反向闭环减速。当速度（反向）降至低于 MIN_DUTY 处的速度时，MSS 转换为反向开环减速。

反向开环减速和零速越过	在反向开环减速时，MCT8316A-Q1 使电机开环减速，直至速度达到零。在零速时，方向发生改变，MCT8316A-Q1 开始开环加速。
HIZ_EN 判断	MSS 进行检查以确定是否启用了滑行（高阻态）功能 (HIZ_EN = 1b)。如果启用了滑行功能 (HIZ_EN = 1b)，则 MSS 会前进到滑行例程。如果禁用了滑行功能 (HIZ_EN = 0b)，则 MSS 前进到 BRAKE_EN 判断。
滑行（高阻态）例程	器件通过将全部六个 MOSFET 关断一段由 HIZ_TIME 配置的特定时间来使电机滑行。
BRAKE_EN 判断	MSS 进行检查以确定是否启用了制动功能 (BRAKE_EN = 1b)。如果启用了制动功能 (BRAKE_EN = 1b)，则 MSS 前进到制动例程。如果禁用了制动功能 (BRAKE_EN = 0b)，则 MSS 前进到电机启动状态（请参阅节 6.3.10.4）。
制动例程	MCT8316A-Q1 通过为 BRK_TIME 导通全部三个（高侧或低侧）MOSFET 来实现制动。根据 BRK_MODE 配置，使用高侧或低侧 MOSFET 施加制动。
闭环	在这种状态下， MCT8316A-Q1 基于过零检测或 BEMF 积分，通过无传感器梯形换向来驱动电机。

6.3.10.1 初始速度检测 (ISD)

ISD 功能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。初始速度、位置和方向通过由内部 ADC 对相电压进行采样来决定。可以通过将 ISD_EN 设置为 0b 来禁用 ISD。如果禁用该功能（ISD_EN 设置为 0b），则 MCT8316A-Q1 不执行初始速度检测功能，并继续检查制动例程 (BRAKE_EN) 是否启用。

6.3.10.2 电机重新同步

当同时启用 ISD 和重新同步功能并且器件判断电机初始状态为正向旋转（与命令方向相同）时，电机重新同步功能起作用。ISD 期间测量的速度和位置信息用于初始化 MCT8316A-Q1 的驱动状态，该驱动状态可以直接转换至闭环状态，无需停止电机。在 MCT8316A-Q1 中，可以通过 RESYNC_EN 位启用/禁用电机重新同步。如果电机重新同步被禁用，那么器件将继续检查是否启用了电机滑行（高阻态）例程。

6.3.10.3 反向驱动

当 ISD_EN 和 RVS_DR_EN 都设置为 1b 并且 ISD 确定电机旋转方向与命令方向相反时，MCT8316A-Q1 使用反向驱动功能来改变电机的旋转方向。反向驱动包括在相反的方向与电机速度同步，对电机进行反向减速至越过零速，改变方向，以及在正向（或命令的方向）在开环中加速，直到器件在正向转变为闭环（请参阅图 6-19）。对于开闭环切换阈值 (OPN_CL_HANDOFF_THR)、开环加速率（OL_ACC_A1、OL_ACC_A2）和开环电流限制 (OL_ILIMIT)，MCT8316A-Q1 在反向和正向均使用相同的参数值。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

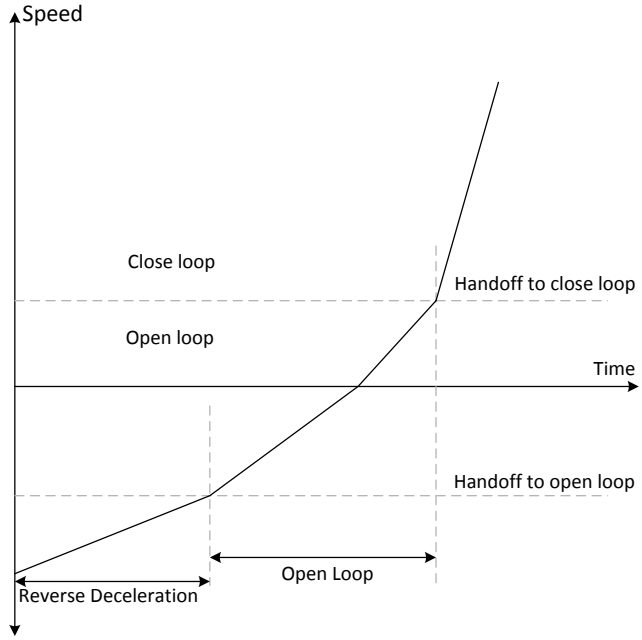


图 6-19. 反向驱动功能

6.3.10.4 电机启动

有不同的选项可用于从静止位置启动电机，可以通过 MTR_STARTUP 来配置这些选项。在对齐和双对齐模式下，电机通过注入直流电流对齐到已知位置。在 IPD 模式下，通过施加 6 个不同的高频脉冲来估算转子位置。在慢速首循环模式下，通过施加一个低频周期来启动电机。

6.3.10.4.1 对齐

可以通过将 MTR_STARTUP 配置为 00b 来启用对齐。MCT8316A-Q1 通过使用特定相位模式（C 相高侧 FET 和 B 相低侧 FET 导通）注入直流电流来对齐电机 - 流入 B 相和从 C 相流出的电流将持续由 ALIGN_TIME 配置的特定时间。

对齐期间的占空比由 ALIGN_DUTY 定义。在 MCT8316A-Q1 中，对齐期间的电流限制通过 OL_ILIMIT_CONFIG 进行配置，并根据 OL_ILIMIT_CONFIG 的配置由 ILIMIT 或 OL_ILIMIT 来确定。

对齐期间相电流的快速变化可能导致驱动扭矩突然变化，从而产生可闻噪声。为避免这种情况，MCT8316A-Q1 以 ALIGN_RAMP_RATE 设置的可配置速率将占空比从 0 增加到 ALIGN_DUTY。在对齐例程结束时，电机将在已知位置对齐。

6.3.10.4.2 双对齐

可以通过将 MTR_STARTUP 配置为 01b 来启用双对齐。当转子的初始位置相对于应用的相位模式具有 180º 的相位差时，单对齐不可靠。在这种情况下，使用单对齐可能会产生启动故障。为了提高基于对齐的启动的可靠性，MCT8316A-Q1 提供了双对齐启动选项。在双对齐启动中，MCT8316A-Q1 针对第二个对齐使用的相位模式在命令的方向上相对于第一个对齐相位模式具有 60º 的相位差。在双对齐中，对齐时间、电流限值、升降速率等相关参数与单对齐的情况相同 - 连续应用两个具有相同参数的不同相位模式，以确保无论初始转子位置如何，电机都会对齐到已知位置。

6.3.10.4.3 初始位置检测 (IPD)

可以通过将 MTR_STARTUP 配置为 10b 来启用初始位置检测 (IPD)。在 IPD 中，使用电感检测方法来利用电机电感的空间变化来确定电机的初始位置。

对齐或双对齐可能会使电机在开始开环加速之前反向旋转。IPD 可用于不允许电机反转的应用。IPD 不会等待电机与换向对齐，因此可以实现更快的电机启动序列。当电机的电感作为位置的函数变化时，IPD 效果很好。IPD 通过将脉冲电流输入电机进行工作，因此会产生噪声，在确定特定应用的最佳启动方法时必须考虑这一点。

6.3.10.4.3.1 IPD 运行模式

IPD 通过根据以下序列依次应用六种不同的相位模式来运行：BC -> CB -> AB -> BA -> CA -> AC（请参阅图 6-20）。当电流达到 IPD_CURR_THR 配置的阈值时，MCT8316A-Q1 停止驱动特定相位模式并测量从应用特定相位模式到达到当前阈值所花费的时间。因此，针对全部六种相位模式测量达到 IPD_CURR_THR 所花费的时间 - 该时间随电机绕组中电感的变化而变化。时间最短的状态代表电感最小的状态。最小电感产生的原因是电机的北极与这种特定的驱动状态对齐。

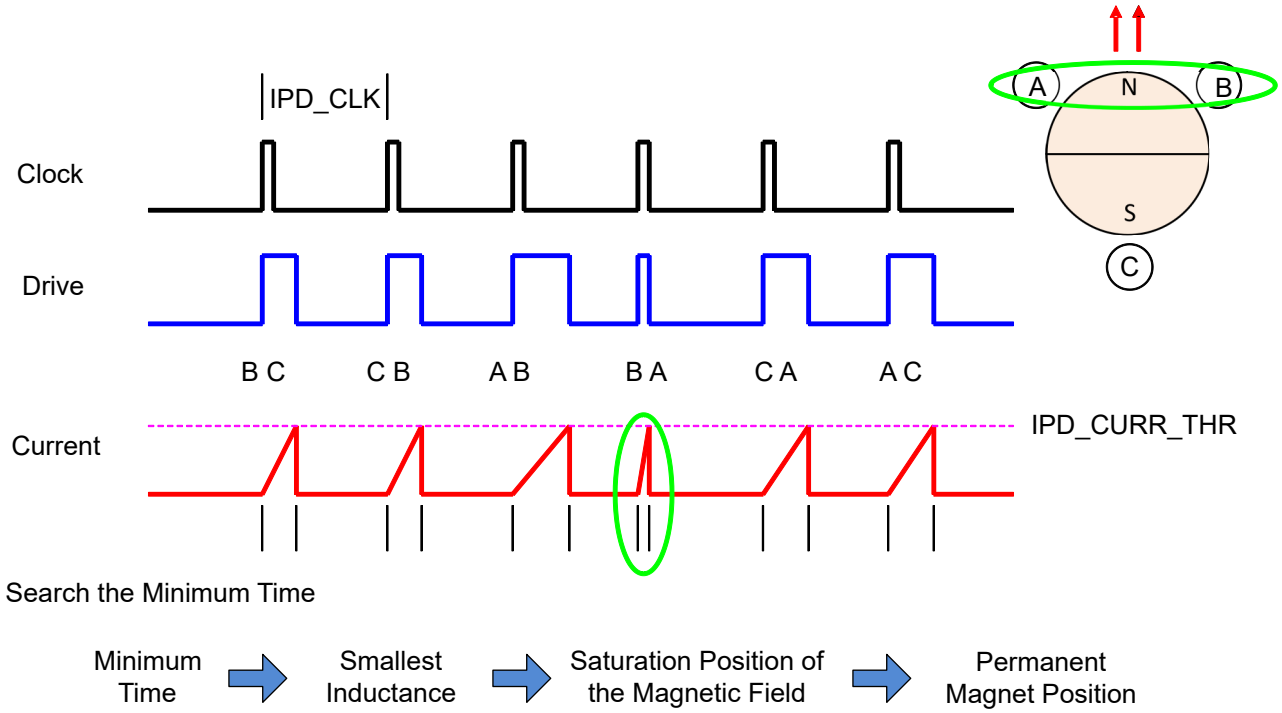


图 6-20. IPD 功能

6.3.10.4.3.2 IPD 释放模式

对于在达到电流阈值时 MCT8316A-Q1 如何停止驱动电机，有两种模式可进行配置。如果 IPD_RLS_MODE = 0b，则选择再循环（或制动）模式。在此配置中，低侧 (LSC) MOSFET 保持导通状态，以使电流在 MOSFET (LSC) 和体二极管 (LSA) 之间再循环（请参阅图 6-21）。如果 IPD_RLS_MODE = 1b，则选择高阻态模式。在高阻态模式下，高侧 (HSA) 和低侧 (LSC) MOSFET 均关断，电流通过体二极管再循环回到电源中（请参阅图 6-22）。

在高阻态模式下，相电流的稳定时间较短，但这可能导致 V_M 上的电压增加。要解决该问题，用户必须适当选择钳位电路，或在 V_M 和 GND 之间提供足够的电容来吸收能量。如果无法抑制电压浪涌，或电压浪涌对于应用而言不可接受，则必须使用再循环模式。使用再循环模式时，请相应地选择 IPD_CLK_FREQ，以便在应用下一个 IPD 相位模式之前，为电机绕组中的电流提供足够的时间以衰减至 0A。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

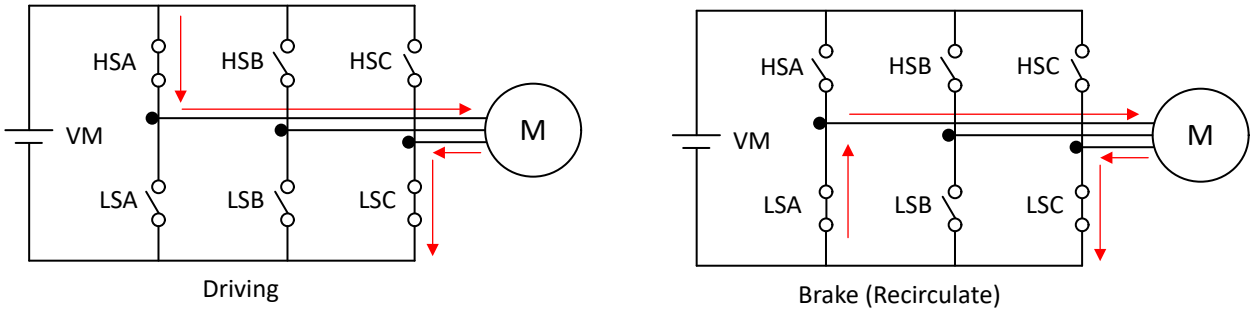


图 6-21. IPD 释放模式 0

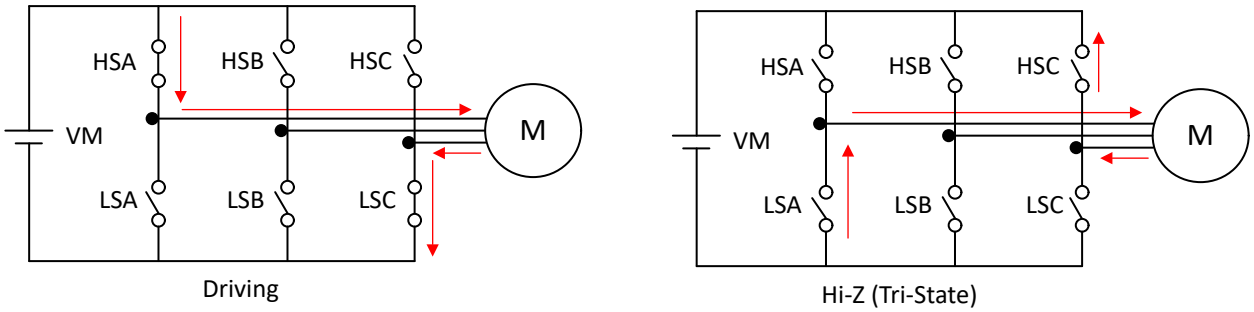


图 6-22. IPD 释放模式 1

6.3.10.4.3.3 IPD 超前角度

检测到初始位置后，MCT8316A-Q1 开始以 IPD_ADV_ANGLE 指定的角度以开环方式驱动电机。

将驱动角度提前介于 0° 和 180° 之间的任何值可产生负扭矩。将驱动角提前 90° 可产生最大初始扭矩。施加最大初始扭矩可能会导致转子加速不稳定。选择 IPD_ADV_ANGLE 以在应用中实现平滑加速（请参阅图 6-23）。

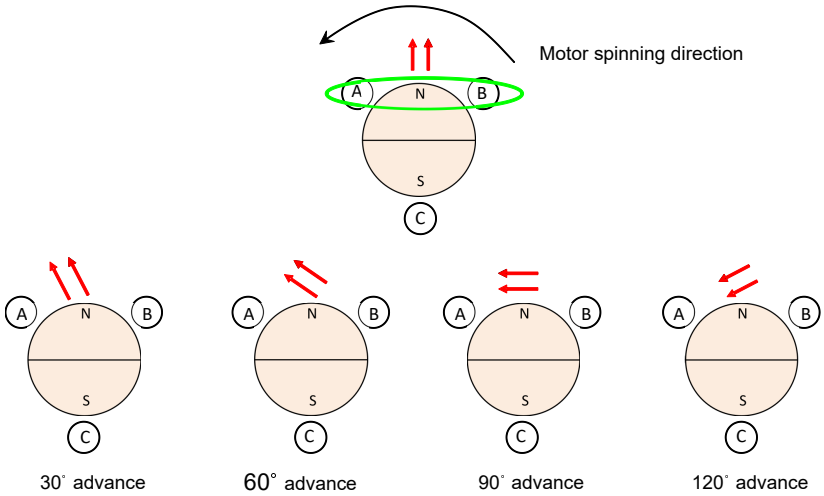


图 6-23. IPD 超前角度

6.3.10.4.4 显示首个周期启动

可以通过将 MTR_STARTUP 配置为 11b 来启用慢速首循环启动。在慢速首循环启动中，MCT8316A-Q1 以 SLOW_FIRST_CYCLE_FREQ 定义的频率启动电机换向。配置的频率仅用于第一个周期，然后电机换向遵循由开环加速系数 A1 和 A2 配置的加速曲线。必须将慢速首循环配置得足够慢，以便允许电机与换向序列同步。当需要快速启动时，该模式很有用，因为它可以显著减少对齐时间。

6.3.10.4.5 开环

使用对齐、双对齐、IPD 或慢速首循环完成电机位置初始化后，MCT8316A-Q1 开始在开环中加速电机。在开环期间，应用固定占空比并使用逐周期电流限制功能来调节电流。

在 MCT8316A-Q1 中，开环电流限制阈值通过 OL_ILIMIT_CONFIG 进行选择，并由 ILIMIT 或 OL_ILIMIT 根据 OL_ILIMIT_CONFIG 的配置进行设置。开环占空比通过 OL_DUTY 进行配置。当电机以开环方式运行时，速度（和换向瞬间）由方程式 5 决定。在 MCT8316A-Q1 中，开环加速系数 A1 和 A2 分别通过 OL_ACC_A1 和 OL_ACC_A2 进行配置。开环运行的功能是将电机驱动至电机产生足够 BEMF 的速度，以便基于 BEMF 过零的换向控制能够准确地驱动电机。

$$\text{Speed}(t) = A1 * t + 0.5 * A2 * t^2 \quad (5)$$

6.3.10.4.6 从开环转换到闭环

MCT8316A-Q1 具有一个内部机制，用于确定从开环换向到基于 BEMF 过零的闭环换向转换的电机速度。可以通过将 AUTO_HANDOFF 配置为 1b 来启用该自动确定开闭环切换速度的功能。如果 AUTO_HANDOFF 被设置为 0b，则需要通过 OPN_CL_HANDOFF_THR 来配置开闭环切换速度。本节中的闭环不是指速度闭环 - 它是指从开环（基于公式）变为闭环（基于 BEMF 过零）的换向控制。

6.3.11 闭环运行

在闭环运行中，MCT8316A-Q1 使用梯形换向驱动电机。换向瞬间由未驱动的相位（高阻态）上的 BEMF 过零决定。所施加电机电压的占空比由 DUTY OUT 决定（请参阅 SPEED 控制 ）。

6.3.11.1 120º 换向

在 120º 换向中，在每半个电气周期内，每个相位被驱动达 120º，处于高阻态达 60º，如图 6-24 所示。在 120º 换向中有六种不同的换向状态。可以通过将 COMM_CONTROL 设置为 00b 来配置 120º 换向。MCT8316A-Q1 通过 120º 换向支持不同的调制模式，这可通过 PWM_MODUL 进行配置。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

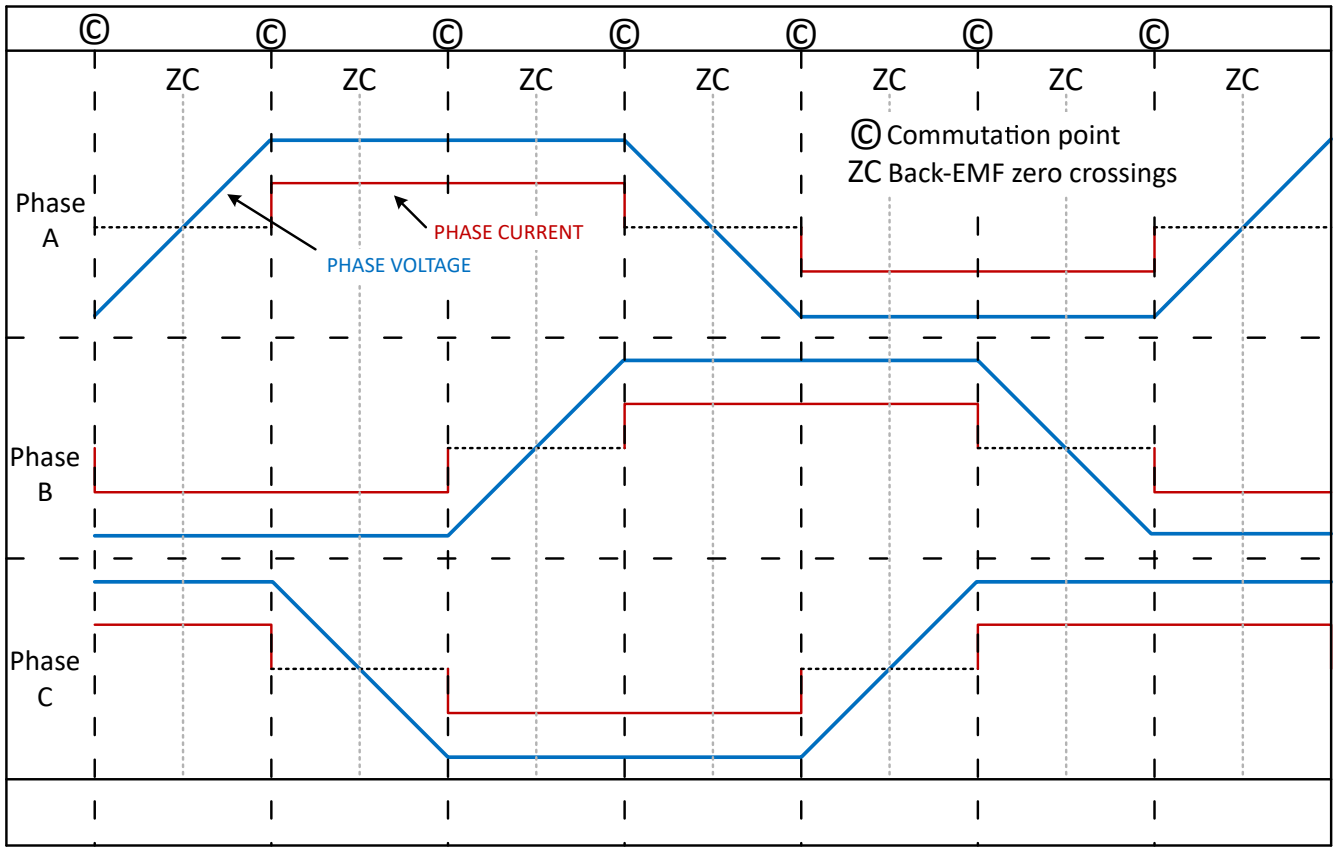


图 6-24. 120° 换向

6.3.11.1.1 高侧调制

可以通过将 PWM_MODUL 设置为 00b 来配置高侧调制。在高侧调制中，对于给定的换向状态，其中一个高侧 FET 以命令的占空比 DUTY_OUT 进行开关，而低侧 FET 以 100% 占空比导通（请参阅图 6-25）。

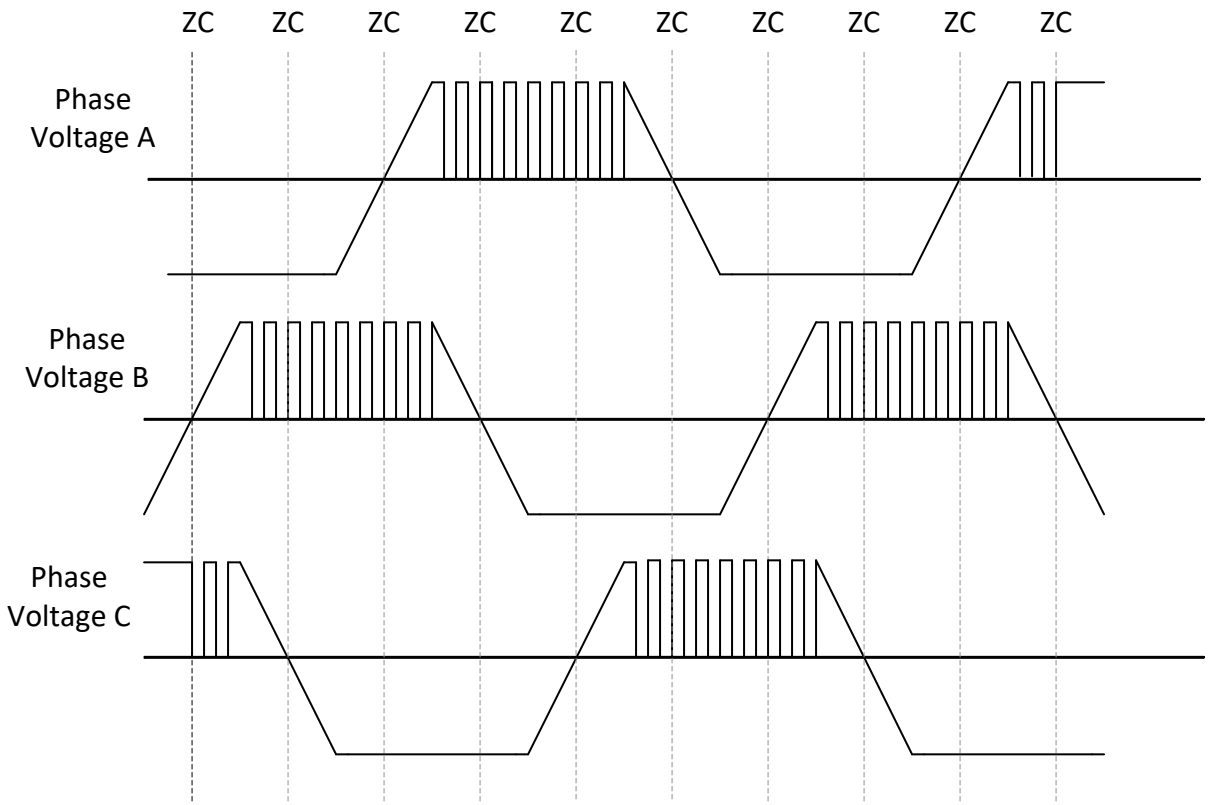


图 6-25. 高侧调制模式下的 120º 换向

6.3.11.1.2 低侧调制

可以通过将 PWM_MODUL 设置为 01b 来配置低侧调制。在低侧调制中，对于给定的换向状态，其中一个低侧 FET 以命令的占空比 DUTY_OUT 进行开关，而低高侧 FET 以 100% 占空比导通（请参阅图 6-26）。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

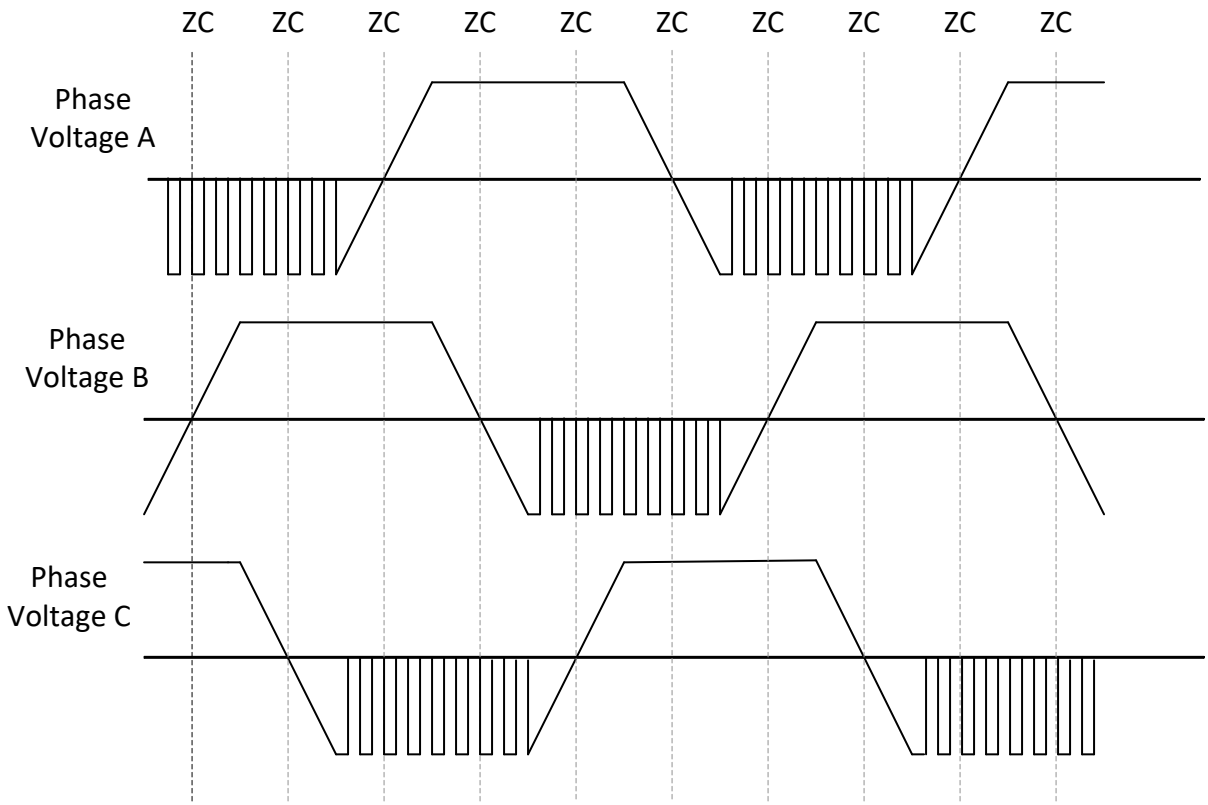


图 6-26. 低侧调制模式下的 120 º 换向

6.3.11.1.3 混合调制

可以通过将 PWM_MODUL 设置为 10b 来配置混合调制。在混合调制中，MCT8316A-Q1 在高侧调制和低侧调制之间动态切换（请参阅图 6-27）。在混合调制模式下，开关损耗在高侧和低侧 MOSFET 之间均匀分布。

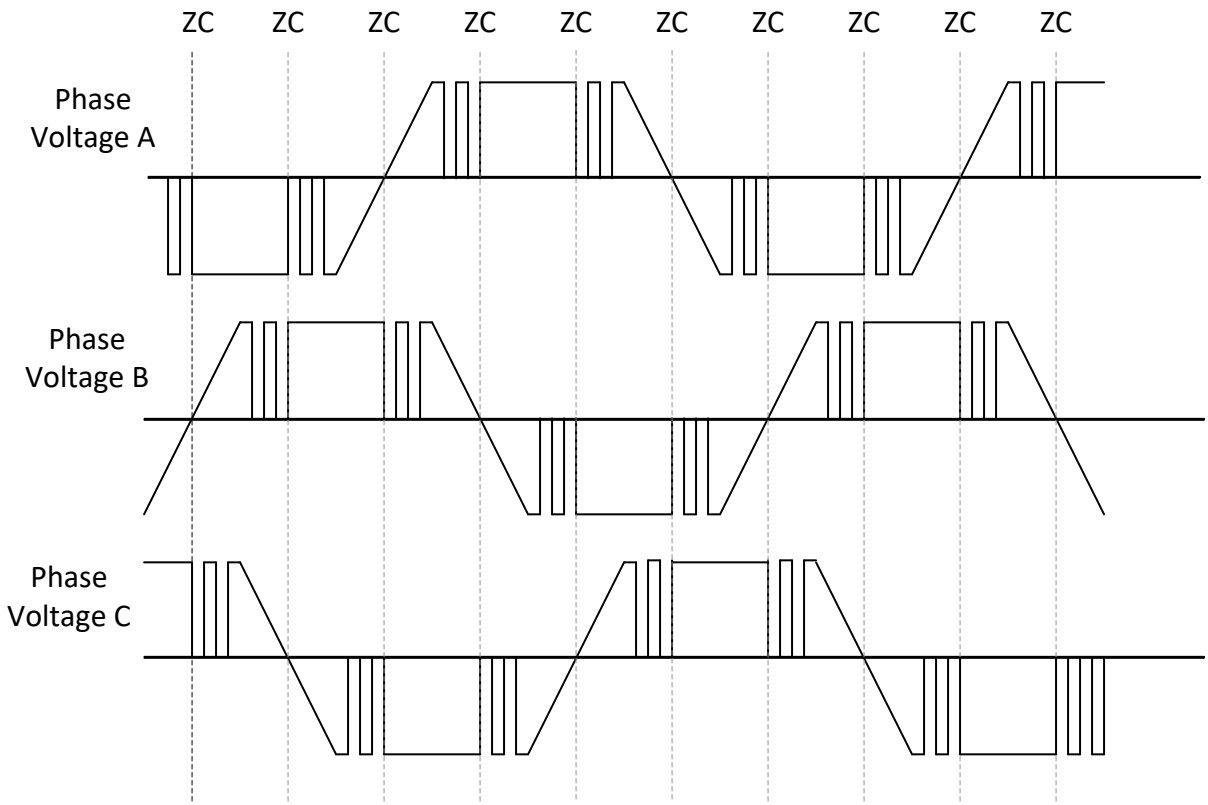


图 6-27. 混合调制模式下的 120º 换向

6.3.11.2 可变换向

可以通过将 COMM_CONTROL 设置为 01b 来配置可变换向。120º 换向可能会产生可闻噪声，因为较长的高阻态周期会在电机中产生一些扭矩纹波。为了降低该扭矩纹波和可闻噪声，MCT8316A-Q1 使用了可变换向，通过延长 120º 驱动时间并在进入高阻态之前逐渐减小占空比来减小换向时的相电流纹波。在该模式下，相位在 30º 和 60º 之间处于高阻态，该窗口大小会根据速度动态调节。较小的窗口大小通常会提供更好的声学性能。图 6-28 展示了窗口大小为 30º 的 150º 换向。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

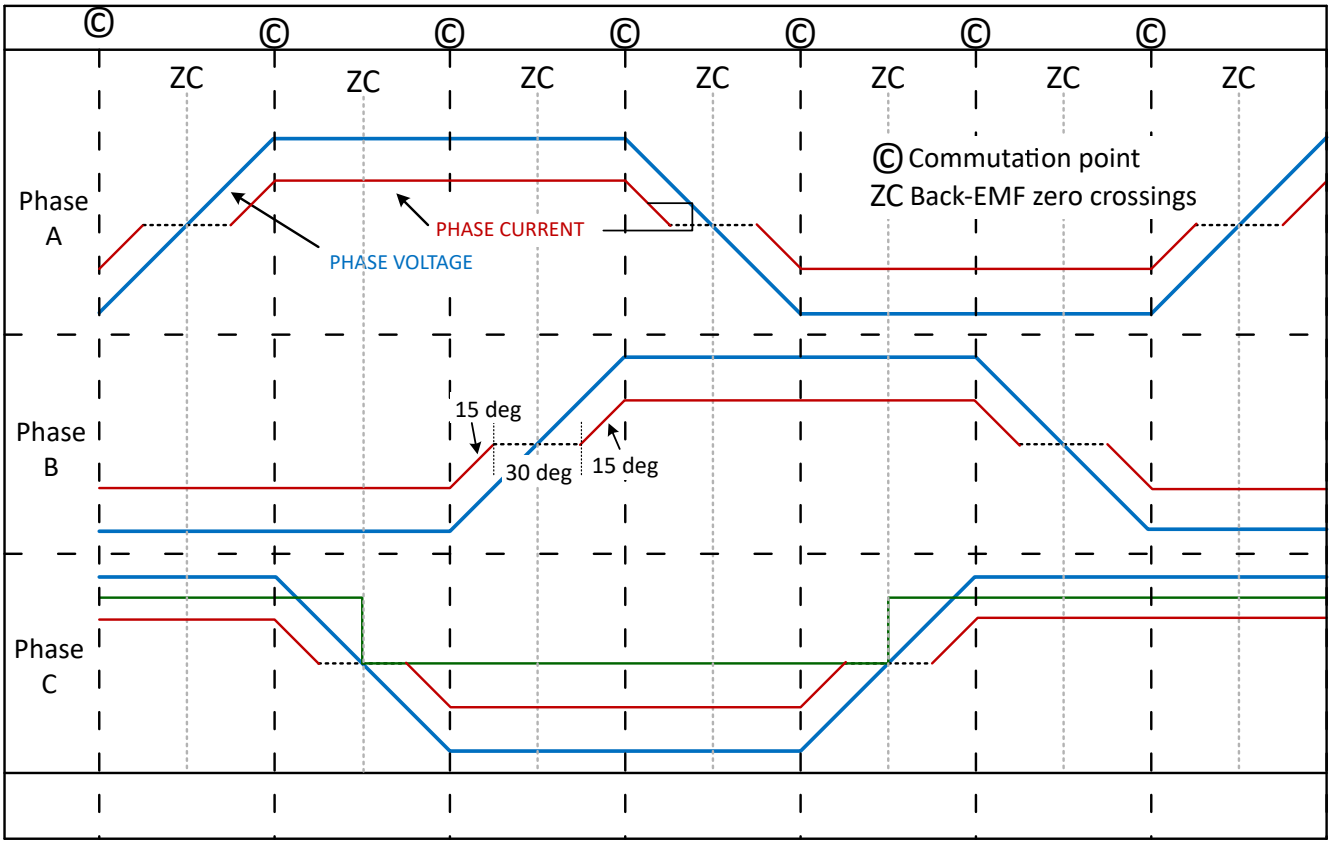


图 6-28. 150º 换向

备注

仅 120º 换向支持不同的换向模式；可变换向仅使用混合调制模式。

6.3.11.3 超前角控制

为了实现最佳效率，通常需要控制电机的驱动状态，使电机相电流与电机 BEMF 电压保持一致。MCT8316A-Q1 提供了通过调整超前角来提前或延迟换相点相电压的选项。可以调整超前角以获得最佳效率。这可以通过在恒定速度和负载条件下运行电机并调整超前角 (LD_ANGLE) 直到达到最小电流来实现。MCT8316A-Q1 能够应用正负超前角（通过配置 LD_ANGLE_POLARITY），如图 6-29 所示

可以通过 {LD_ANGLE x 0.12}º 来计算超前角；例如，如果 LD_ANGLE 为 0x1E 且 LD_ANGLE_POLARITY 为 1b，则应用 +3.6º（提前）的超前角。如果 LD_ANGLE_POLARITY 为 0b，则应用 -3.6º（延迟）的超前角。

备注

对于 120º 换向，负超前角限制为 -20º；任何低于该值的超前角都将被钳制为 -20º。

对于可变换向，不支持负超前角，正超前角被限制为 +15º。任何高于 +15º 或低于 0^0 的配置都将分别被钳制为 15º 和 0º。

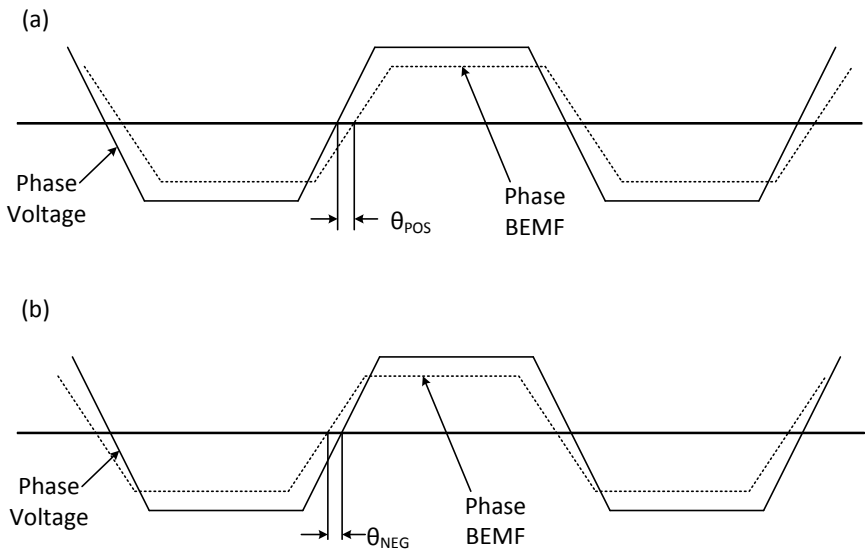


图 6-29. 正负超前角定义

6.3.11.4 闭环加速

为防止施加到电机的扭矩突然变化而导致噪声，MCT8316A-Q1 器件提供选项来限制速度命令可以更改的最大速率。闭环加速率参数设置速度命令更改的最大速率（如图 6-30 所示）。在 MCT8316A-Q1 中，闭环加速率通过 CL_ACC 进行配置。

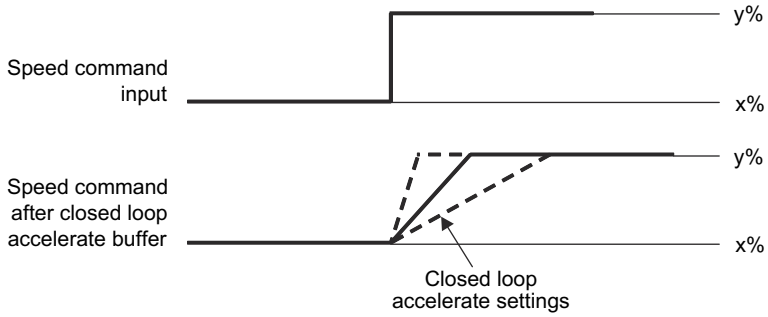


图 6-30. 闭环加速

6.3.12 速度环路

MCT8316A-Q1 具有一个速度环路选项，可用于在变化的运行条件下保持恒定的速度。可以通过将 CLOSED_LOOP_MODE 设置为 01b 来启用速度环路。K_p 和 K_i 系数通过 SPD_POWER_KP 和 SPD_POWER_KI 进行配置。速度环路的输出 (SPEED_PI_OUT) 用于生成 DUTY OUT（请参阅图 6-13）。PI 控制器输出上限 (V_{MAX}) 和下限 (V_{MIN}) 饱和限制分别通过 SPD_POWER_V_MAX 和 SPD_POWER_V_MIN 进行配置。当速度环路的输出饱和时，积分器被禁用以防止积分饱和。速度环路 PI 控制器如图 6-31 所示。

SPEED_REF 源自用户配置的占空比命令输入和最大电机转速 (MAX_SPEED)（请参阅方程式 6）。在速度环路模式下，最小 SPEED_REF 由 MIN_DUTY * MAX_SPEED 设置。

$$\text{SPEED_REF} = \text{DUTY CMD} * \text{MAX_SPEED} \tag{6}$$

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

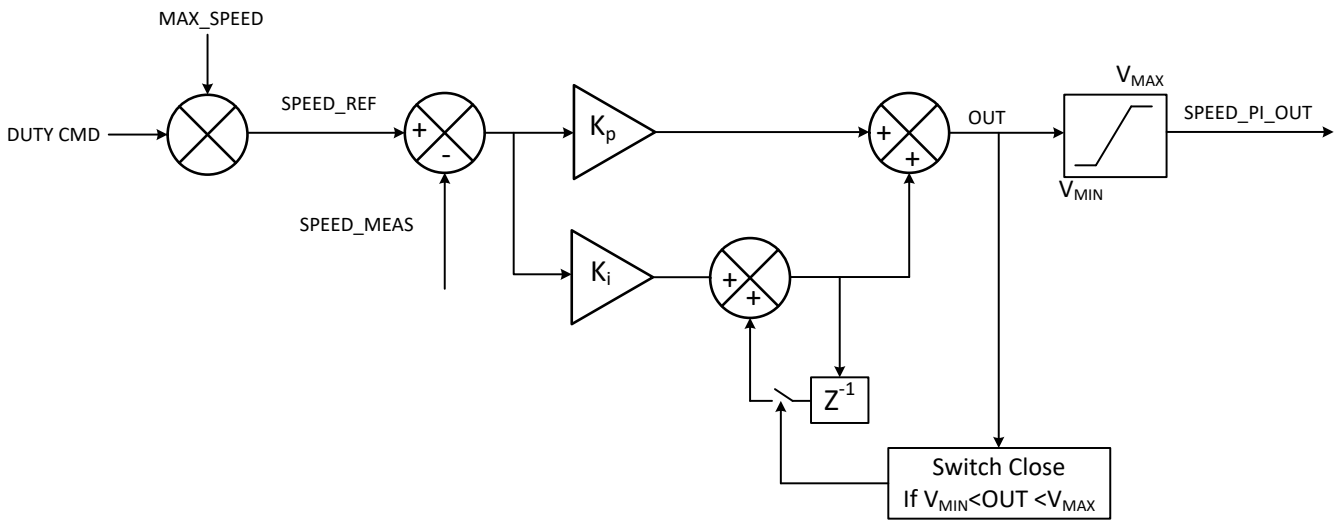


图 6-31. 速度环路

6.3.13 输入功率调节

MCT8316A-Q1 提供调节（输入）功率而非电机转速的选项 - 该输入功率调节可以在两种模式下完成，即闭环功率控制和功率限制控制。可以通过将 CLOSED_LOOP_MODE 设置为 10b 来选择输入功率调节（而非电机转速）模式。此外应同时将 CONST_POWER_MODE 设置为 01b 以进行闭环功率控制，或设置为 10b 以进行功率限制控制。在任一功率调节模式下，MCT8316A-Q1 可从直流输入电源汲取的最大功率由 MAX_POWER 设置 - 功率基准（图 6-32 中的 POWER_REF）作为占空比命令输入 (DUTY CMD) 和由方程式 7 给出的 MAX_POWER 的函数而变化。功率基准的迟滞带由 CONST_POWER_LIMIT_HYST 设置。在两种功率调节模式下，最小功率基准由 MIN_DUTY x MAX_POWER 设置。

$$\text{POWER_REF} = \text{DUTY CMD} \times \text{MAX_POWER} \tag{7}$$

在这两种功率调节模式下，MCT8316A-Q1 使用与速度环路模式相同的 PI 控制器参数。K_p 和 K_i 系数通过 SPD_POWER_KP 和 SPD_POWER_KI 进行配置。PI 控制器输出上限 (V_{MAX}) 和下限 (V_{MIN}) 饱和限制分别通过 SPD_POWER_V_MAX 和 SPD_POWER_V_MIN 进行配置。闭环功率控制和功率限制控制之间的主要区别在于 PI 控制器何时决定应用于 FET 的 DUTY OUT（请参阅图 6-13）。在闭环功率控制中，DUTY OUT 始终等于图 6-32 中来自 PI 控制器输出的 POWER_PI_OUT。然而，在功率限制控制中，PI 控制器仅在 POWER_MEAS > POWER_REF + CONST_POWER_LIMIT_HYST 时才决定 DUTY OUT。如果 POWER_MEAS < POWER_REF + CONST_POWER_LIMIT_HYST，则不使用 PI 控制器，且 DUTY OUT 等于 DUTY CMD。本质上，在闭环功率控制中，输入功率始终主动调节至 POWER_REF，而在功率限制控制中，输入功率仅限制为 POWER_REF，而不主动调节至 POWER_REF。当功率 PI 环路的输出饱和时，积分器被禁用以防止积分饱和。

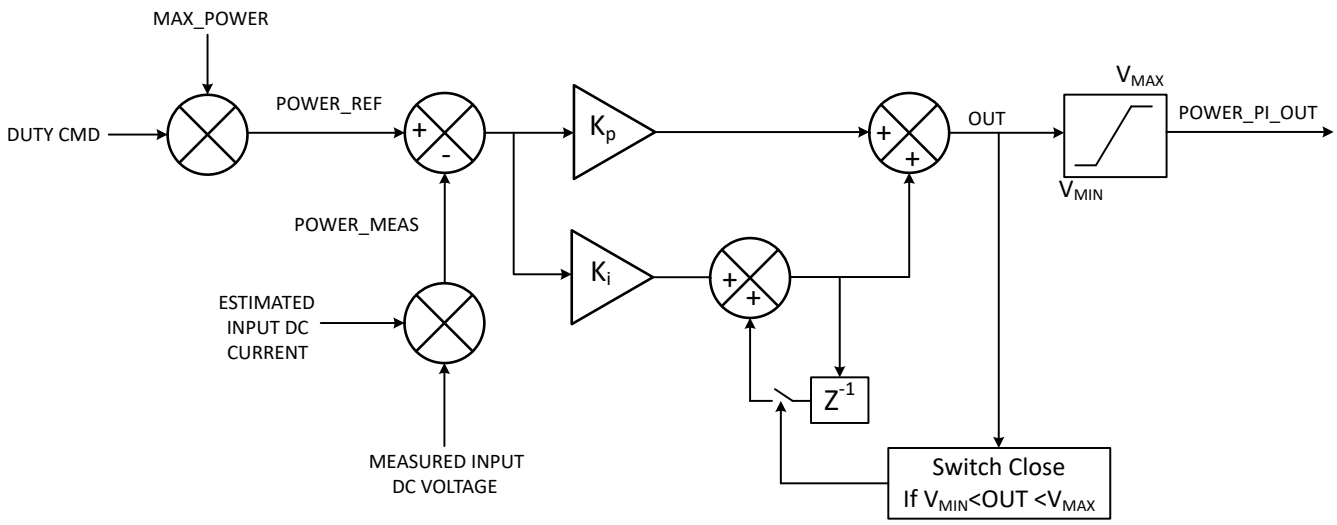


图 6-32. 功率调节

6.3.14 防电压浪涌 (AVS)

驱动电机时，能量从电源传输到电机。其中一些能量以电感能量和机械能的形式进行存储。如果速度命令突然下降，使得电机产生的 BEMF 电压大于施加到电机上的电压，则电机的机械能返回到电源，从而产生 V_M 电压浪涌。AVS 特性用于防止在 V_M 上产生该电压浪涌，可以通过将 AVS_EN 设置为 1b 来启用该特性。可以通过将 AVS_EN 设置为 0b 来禁用 AVS。当禁用 AVS 时，减速率通过 CL_DEC_CONFIG 进行配置

6.3.15 输出 PWM 开关频率

MCT8316A-Q1 提供了通过 PWM_FREQ_OUT 配置 MOSFET 的输出 PWM 开关频率的选项。PWM_FREQ_OUT 的范围为 5-100kHz。为了选择最佳输出 PWM 开关频率，用户必须在电流纹波和开关损耗之间进行权衡。通常，具有较低 L/R 比的电机需要较高的 PWM 开关频率以减小电流纹波。

6.3.16 快速启动 (< 50ms)

MCT8316A-Q1 能够在 50ms 内将电机速度从 0% 加速到 100%。这仅适用于能够达到该加速水平的低惯性电机。为了实现快速启动，需要通过将 INTEG_ZC_METHOD 设置为 1b 来将换向瞬间检测配置为混合模式。在混合模式下，换向瞬间通过在中低速时使用反电动势积分和在高速时使用内置比较器（BEMF 过零）来确定。MCT8316A-Q1 根据电机速度在反电动势积分和基于比较器的换向之间自动转换，如图 6-33 所示。低速时换向方法转换的占空比由 INTEG_DUTY_THR_LOW 和 INTEG_DUTY_THR_HIGH 直接配置，高速时由 INTEG_CYC_THR_LOW 和 INTEG_CYC_THR_HIGH 间接配置。这些占空比应配置为提供足够的滞环，以避免在阈值占空比附近重复换向方法转换。在反电动势积分方法中用于确定换向瞬间的 BEMF 阈值由 BEMF_THRESHOLD1 和 BEMF_THRESHOLD2 进行配置。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

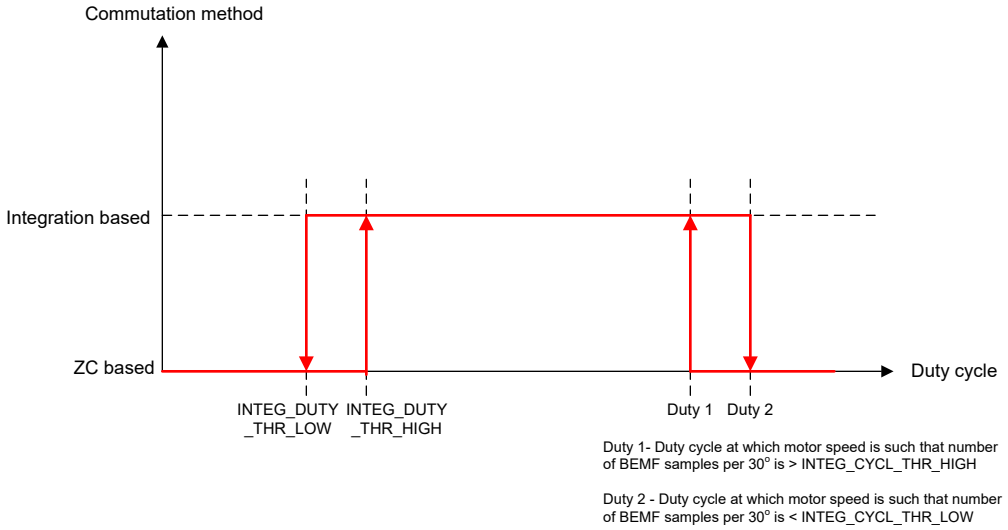


图 6-33. 换向方式转换

6.3.16.1 BEMF 阈值

图 6-34 展示了 120º 梯形运行期间的三相电压。可以看出，其中一个相位将始终在 60º 换相间隔内浮动，MCT8316A-Q1 通过反电动势积分方法对该浮动相电压（表示电机反电动势）进行积分，以检测下一个换向时刻。浮动相电压可以增加或减少，算法在过零检测后开始积分，以消除由于可变去磁时间引起的积分误差。浮动相电压被定期采样（过零之后）并相加（积分的离散形式）。BEMF 阈值（BEMF_THRESHOLD1 和 BEMF_THRESHOLD2）值被进行适当设置，从而使浮动相电压的积分值在（或非常接近）换向时刻与 BEMF_THRESHOLD1 或 BEMF_THRESHOLD2 值交叉。BEMF_THRESHOLD1 是浮相电压上升阈值，BEMF_THRESHOLD2 是浮相电压下降阈值。如果 BEMF_THRESHOLD2 被设置为 0，则 BEMF_THRESHOLD1 用作浮动相电压上升和下降的阈值。

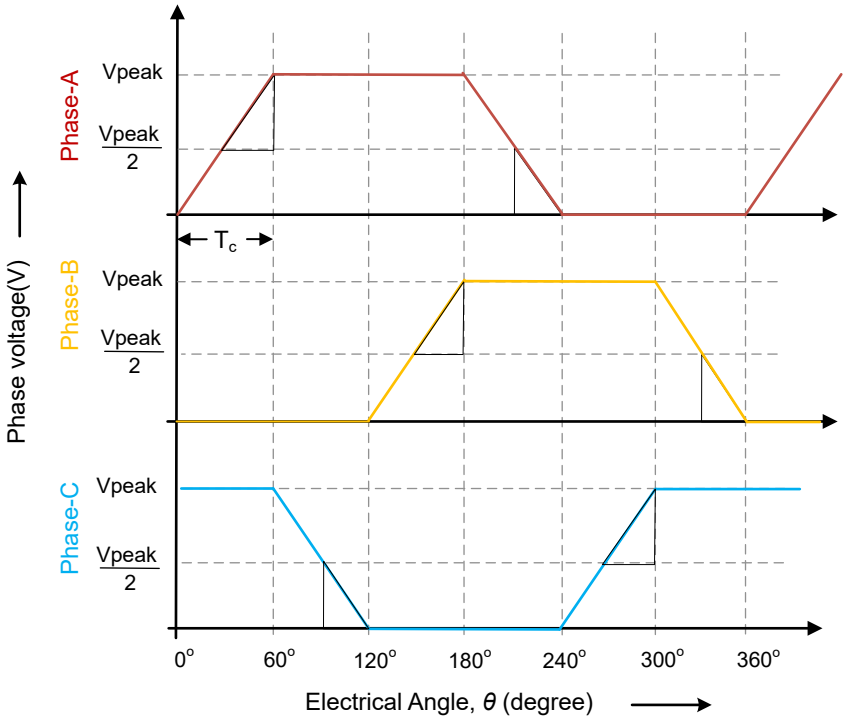


图 6-34. 使用浮动相电压的反电动势积分

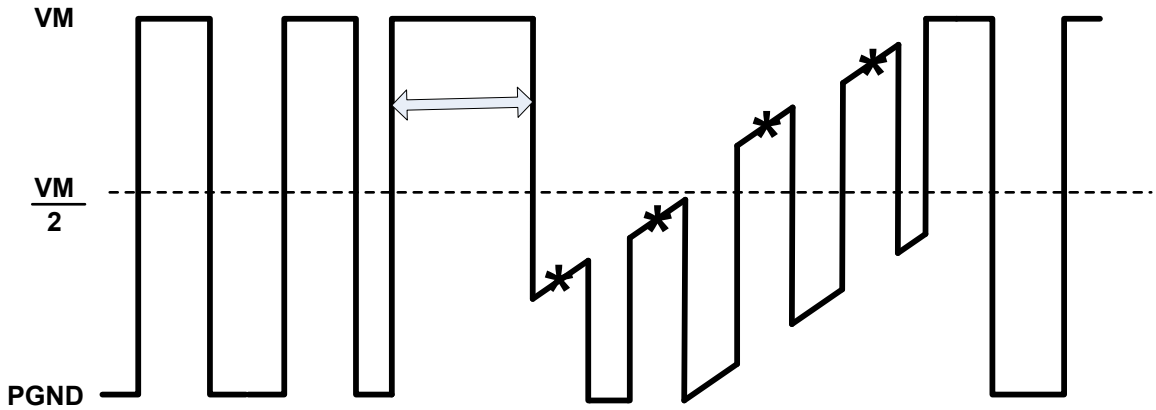
在图 6-34 中，Vpeak 是反电动势的峰峰值，Vpeak/2 表示反电动势过零，Tc 是 60º 窗口的换向间隔或周期。每个 60º 窗口中突出显示的三角形是算法用来确定换向瞬间的反电动势的积分值。该积分值可以近似表示为突出显示的三角形的面积，由方程式 8 给出。

$$(½)* (Vpeak/2) * Tc/2 \quad (8)$$

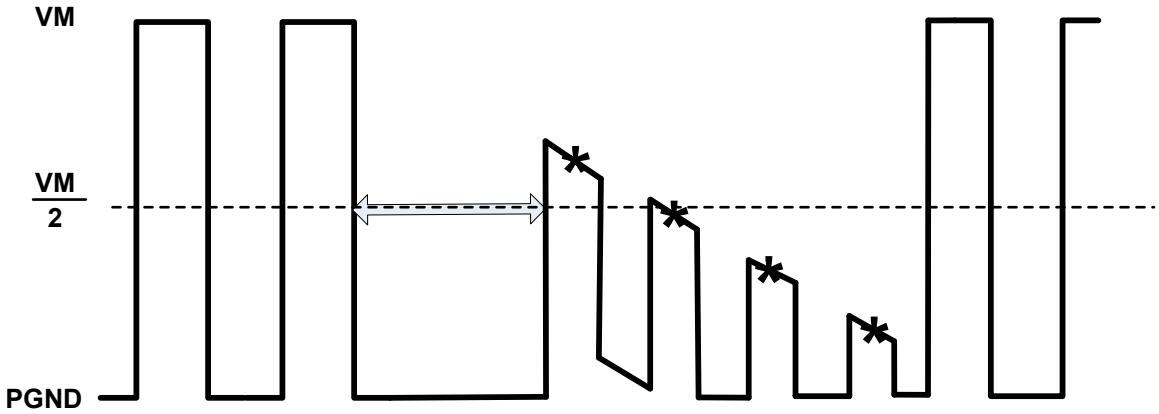
请参阅有关设置 BEMF 阈值的示例应用。

6.3.16.2 动态去磁

在 MCT8316A-Q1 中，可以在换向后动态计算去磁时间，以便精确检测过零瞬间。这是通过启用动态去磁功能（将 DYN_DEGAUSS_EN 设置为 1b）来完成的。该特性可让电机控制算法在输出（悬空）相电压完全稳定后捕获过零瞬间；也就是说，当输出相电流衰减到零，并且输出（悬空）相电压未被钳制（至 VM 或 PGND）且表示真实的反电动势时。利用这种对过零瞬间的精确测量，可以使用 MCT8316A-Q1 实现电机快速加速 (< 50ms)。



Degauss time(shown by double-sided arrow) after commutation during which the outgoing(floating) phase voltage is clamped to VM(by negative outgoing phase current) during increasing back-EMF; sampling of back-EMF(denoted by *) should start after degauss time is over for accurate zero cross instant detection



Degauss time(shown by double-sided arrow) after commutation during which the outgoing(floating) phase voltage is clamped to PGND(by positive outgoing phase current) during decreasing back-EMF; sampling of back-EMF(denoted by *) should start after degauss time is over for accurate zero cross instant detection

图 6-35. 去磁时间

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.17 快速减速

MCT8316A-Q1 能够使用快速减速功能和 AVS 功能快速使电机减速（在数十 ms 内从 100% 减速至 10%），而不会将能量泵回到输入直流电源中。可以通过将 FAST_DECEL_EN 设置为 1b 来启用快速减速功能；AVS_EN 应设置为 1b，以防止能量泵回到输入直流电源中。该组合可实现线性制动效果，从而实现快速平稳的减速，而不会将能量泵回到直流输入电源中。还可以在反向驱动（请参阅 反向驱动 ）或电机停止（请参阅 主动降速 ）期间使用该特性组合，以快速降低电机速度，而不将能量泵回到直流输入电源中。

可以通过适当配置减速期间的电流限值 FAST_DECEL_CURR_LIM 来控制减速时间。电流限值越高，减速时间越短，反之亦然。由于制动扭矩过大，在低目标速度下，高于必要的电流限值设置可能会导致电机失速故障。这也会导致 MCT8316A-Q1 的损耗增加，尤其是在重复的加速/减速循环中。因此，应适当选择 FAST_DECEL_CURR_LIM，以便在要求的时间内减速而不会导致失速故障或过热。

FAST_BRK_DELTA 用于配置目标速度滞环，以在电机达到目标速度时退出快速减速模式并重新进入电机运行模式。例如，如果 FAST_BRK_DELTA 设置为 1%，则当电机速度达到目标速度的 1% 以内时，认为快速减速完成。为 FAST_BRK_DELTA 设置更高的值可能会消除电机失速故障，尤其是在使用高 FAST_DECEL_CURR_LIM 值时。为 FAST_BRK_DETLA 设置较高的值也会导致减速模式结束时目标速度和电机速度之间的速度误差较大 - 一旦恢复电机运行模式，电机最终将达到目标速度。FAST_DECEL_CURR_LIM 和 FAST_BRK_DELTA 应协同配置，以在较低的减速时间和可靠（无失速故障）的减速曲线之间进行优化。

FAST_DEC_DUTY_THR 用于配置实施快速减速的速度下限。例如，如果 FAST_DEC_DUTY_THR 设置为 70%，则在速度高于 70% 时无法使用快速减速，直至其低于 70%。FAST_DEC_DUTY_WIN 用于设置最小减速窗口（初始速度 – 目标速度），低于该窗口将不执行快速减速。例如，如果 FAST_DEC_DUTY_WIN 设置为 15%，并且收到 50%->40% 减速命令，则不使用快速减速将速度从 50% 降低到 40%，因为减速窗口 (10%) 小于 FAST_DEC_DUTY_WIN。

MCT8316A-Q1 在快速减速过程中提供动态电流限值选项，以提高制动到极低速度时快速减速的稳定性；使用该特性，快速减速期间的电流限值可以随着电机速度的降低而降低。可以通过将 DYNAMIC_BRK_CURR 设置为 1b 来启用该功能。快速减速开始时的电流限值（FAST_DEC_DUTY_THR）由 FAST_DECEL_CURR_LIM 配置，零速时的电流限值由 DYN_BRK_CURR_LOW_LIM 配置；当启用动态电流限值时，快速减速期间的电流限值随这两个工作点之间的速度线性变化。如果禁用动态电流限值，则快速减速期间的电流限值保持不变，由 FAST_DECEL_CURR_LIM 进行配置。

6.3.18 主动消磁

MCT8316A-Q1 具有智能整流特性（主动消磁），可通过减少二极管导通损耗来降低器件中的功率损耗。启用此特性后，只要该器件检测到二极管导通，它就会自动导通相应的 MOSFET。可以通过配置 EN_ASR 来启用此特性。

备注

EN_ASR 需要设置为 1b 才能启用主动消磁。

MCT8316A-Q1 器件包括一个高侧 (AD_HS) 和低侧 (AD_LS) 比较器，用于检测每个半桥上器件中的负电流。AD_HS 比较器将检测 FET 输出与电源电压 (VM) 阈值进行比较，而 AD_LS 比较器与接地 (0V) 阈值进行比较。根据从 OUTx 流向 VM 或从 PGND 流向 OUTx 的电流，AD_HS 或 AD_LS 比较器跳变。这些比较器输出为主动消磁特性的运行提供基准点。

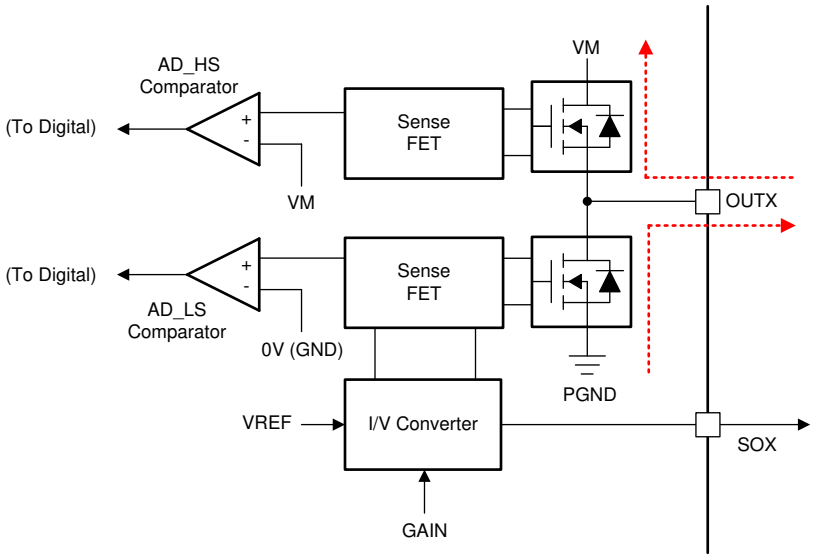


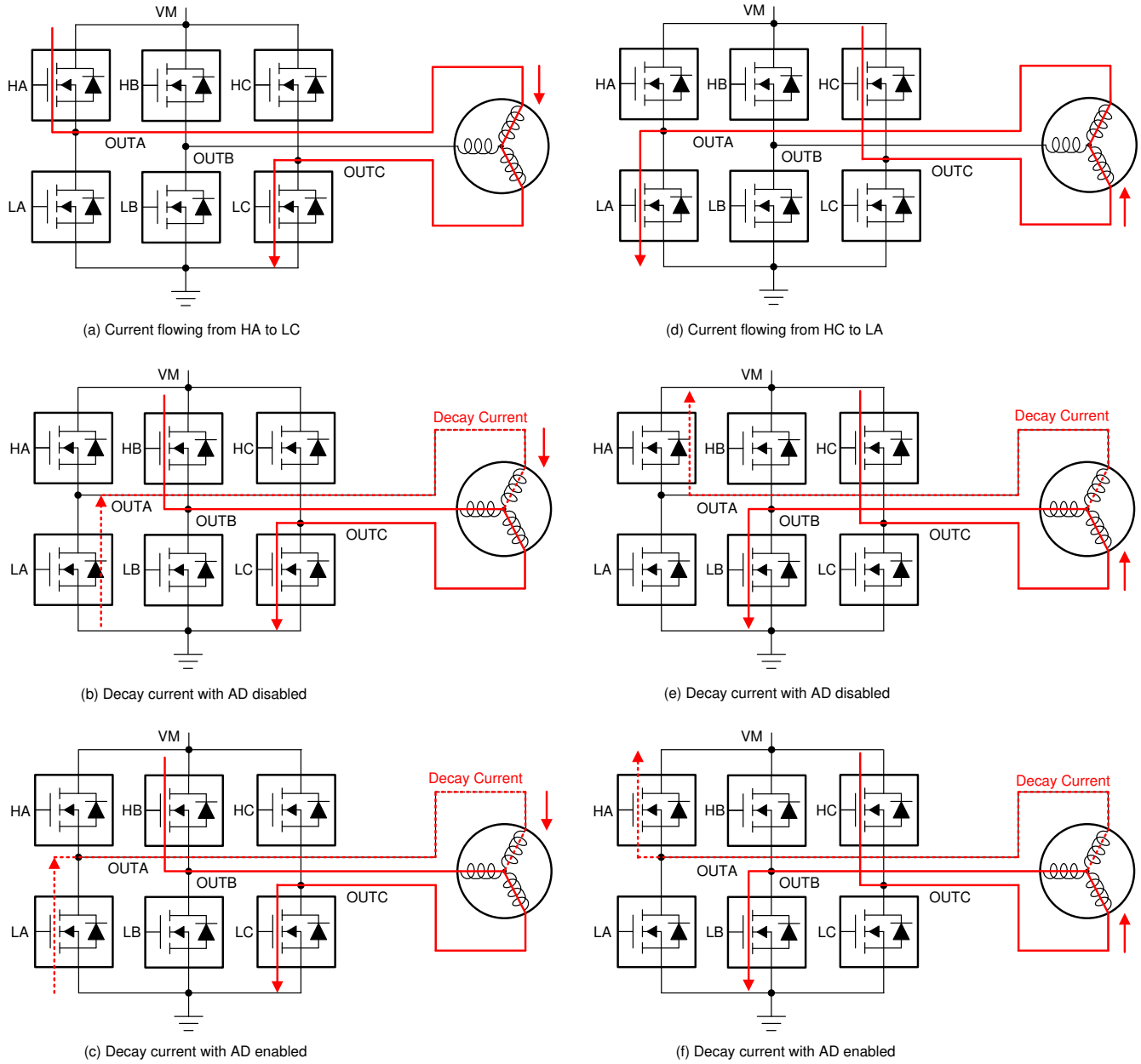
图 6-36. 主动消磁运行

6.3.18.1 主动消磁的实际运用

图 6-37 展示了在 BLDC 电机换向期间主动消磁的运行情况。如图 6-37 (a) 所示，电流在一个换向状态下从 HA 流向 LC。在如图 6-37 (b) 所示的换向转换期间，HB FET 导通（而 HA FET 关断），OUTA 中的换向电流（由电机电感引起）流经 LA 的体二极管。这会导致更高的二极管损耗，具体取决于换向电流。可通过为换向时间开启 LA FET 减少该换向损耗，如图 6-37 (c) 所示。

类似地，高侧 FET 的主动消磁操作在图 6-37 (d)、(e) 和 (f) 中实现。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated



(a) Current flowing from HA to LC

(d) Current flowing from HC to LA

(b) Decay current with AD disabled

(e) Decay current with AD disabled

(c) Decay current with AD enabled

(f) Decay current with AD enabled

图 6-37. BLDC 电机换向中的主动消磁

图 6-38 (a) 展示了在采用梯形换向的主动消磁情况下的 BLDC 电机相电流波形。该图显示了在单个换向周期中各种开关的运行情况。

图 6-38 (b) 展示了换向周期的放大波形。

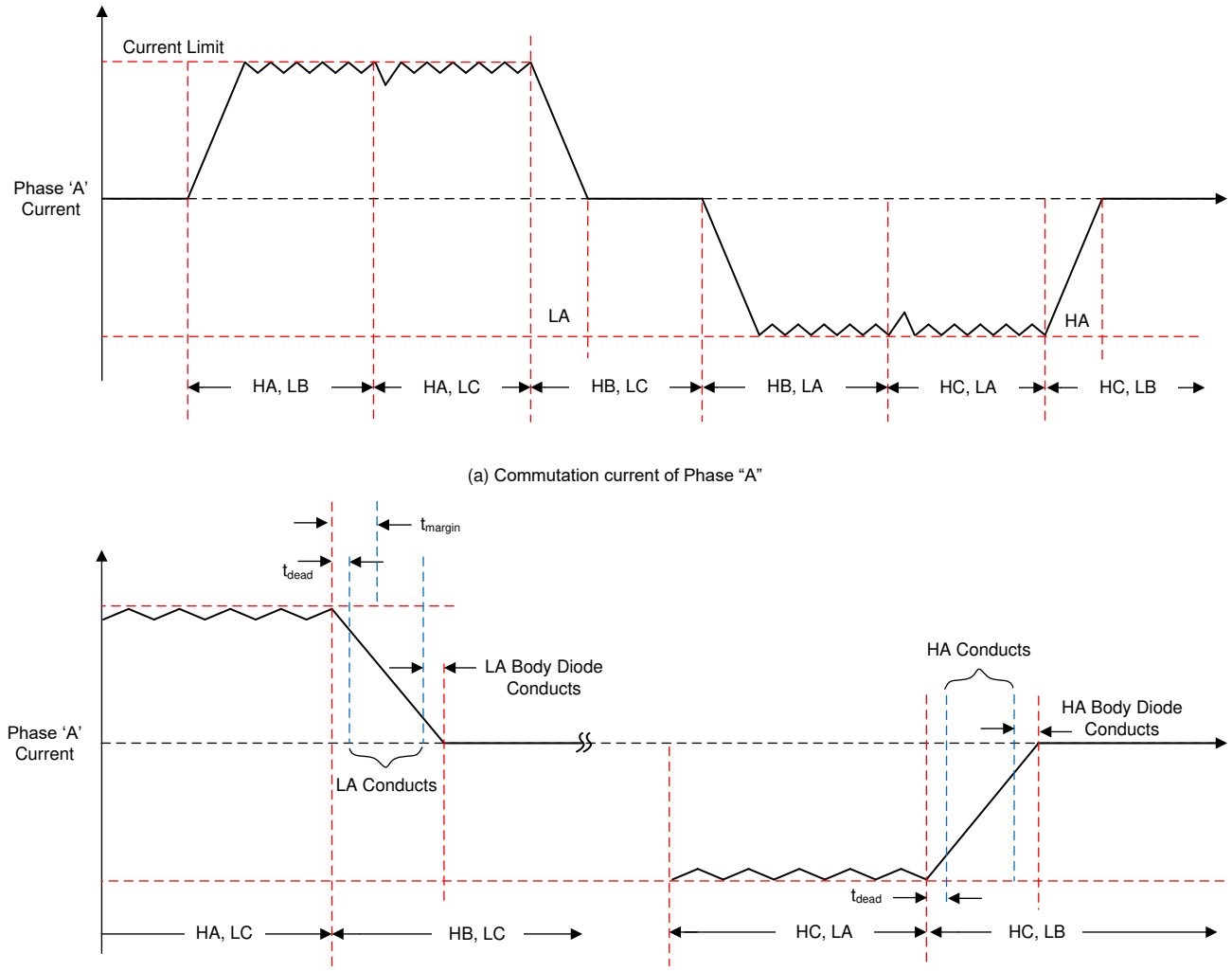


图 6-38. 主动消磁的电流波形

6.3.19 电机停止运转选项

MCT8316A-Q1 提供用于停止电机的不同选项，可通过 MTR_STOP 配置这些选项。

6.3.19.1 滑行（高阻态）模式

可以通过将 MTR_STOP 设置为 000b 来配置滑行（高阻态）模式。当收到电机停止命令时，MCT8316A-Q1 将通过关断所有 MOSFET 转换到高阻抗 (Hi-Z) 状态。当 MCT8316A-Q1 从驱动电机转换到高阻态时，电机绕组中的电感电流继续流动，能量通过 MOSFET 输出级中的体二极管返回到电源中（请参阅示例图 6-39）。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

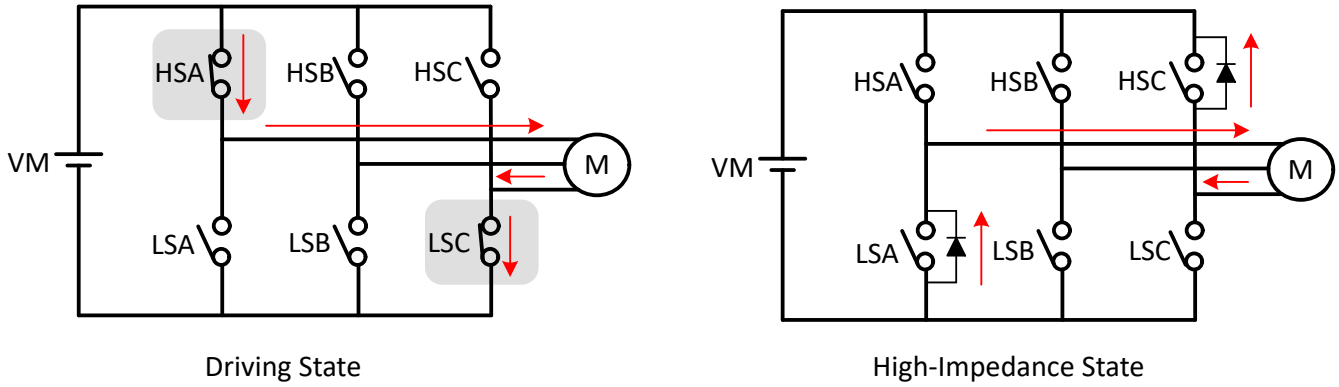


图 6-39. 滑行（高阻态）模式

在该示例中，电流通过高侧 A 相 MOSFET (HSA) 施加到电机，并通过低侧 C 相 MOSFET (LSC) 返回。接收到电机停止命令后，全部 6 个 MOSFET 都会转换为高阻态，电感能量通过 MOSFET LSA 和 HSC 的体二极管返回到电源中。

6.3.19.2 再循环模式

可以通过将 MTR_STOP 设置为 001b 来配置再循环模式。为了防止电感能量在电机停止期间返回到直流输入电源中，MCT8316A-Q1 允许电流在 MOSFET 内循环，方法是有选择地关断一些处于工作（导通）状态的 MOSFET 一段时间（自动计算再循环时间以允许电感电流衰减到零），然后通过关断剩余的 MOSFET 来转换至高阻态。

如果高侧调制处于运行状态，则在发出电机停止命令之前，高侧 MOSFET 在接收到电机停止命令时关断，电流再循环通过低侧 MOSFET 进行（请参阅示例图 6-40）。再循环时间结束后，低侧 MOSFET 也会关断，所有 MOSFET 都处于高阻态。

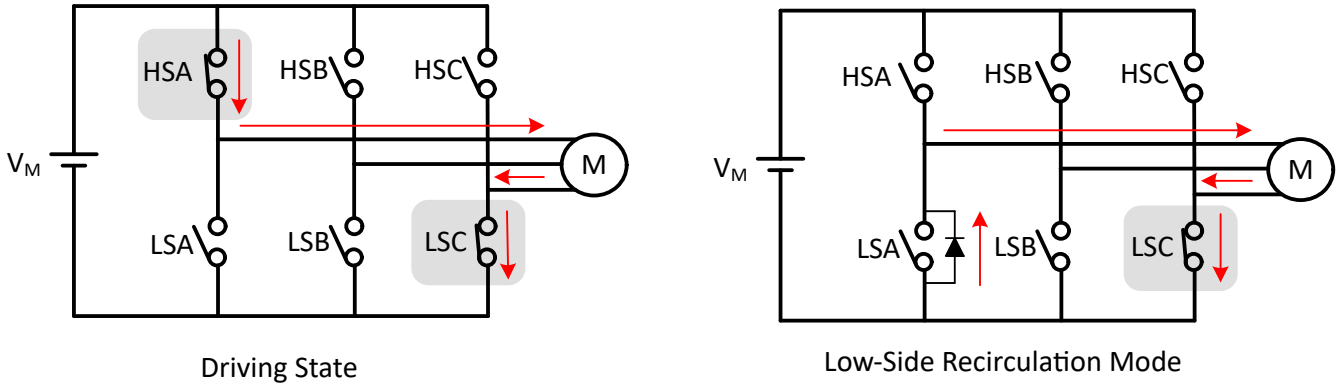


图 6-40. 低侧再循环

如果低侧调制处于活动状态，则在发出电机停止命令之前，低侧 MOSFET 在接收电机停止命令时关断，电流再循环通过高侧 MOSFET 进行（请参阅示例 图 6-41）。再循环时间结束后，高侧 MOSFET 也会关断，所有 MOSFET 都处于高阻态。

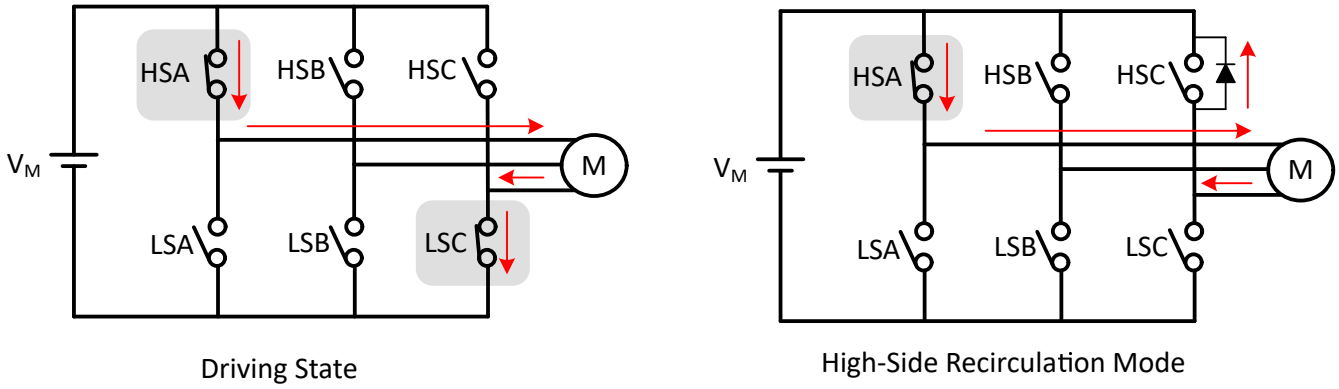


图 6-41. 高侧再循环

6.3.19.3 低侧制动

可以通过将 MTR_STOP 设置为 010b 来配置低侧制动模式。接收到电机停止命令后，输出速度会降低到由 ACT_SPIN_BRK_THR 定义的值，然后使所有低侧 MOSFET 导通（请参阅示例图 6-42）达 MTR_STOP_BRK_TIME 配置的时长。如果在接收到停止命令之前电机速度低于 ACT_SPIN_BRK_THR，则 MCT8316A-Q1 直接转换至制动状态。在施加制动达 MTR_STOP_BRK_TIME 后，MCT8316A-Q1 会通过关断所有 MOSFET 转换至高阻态。

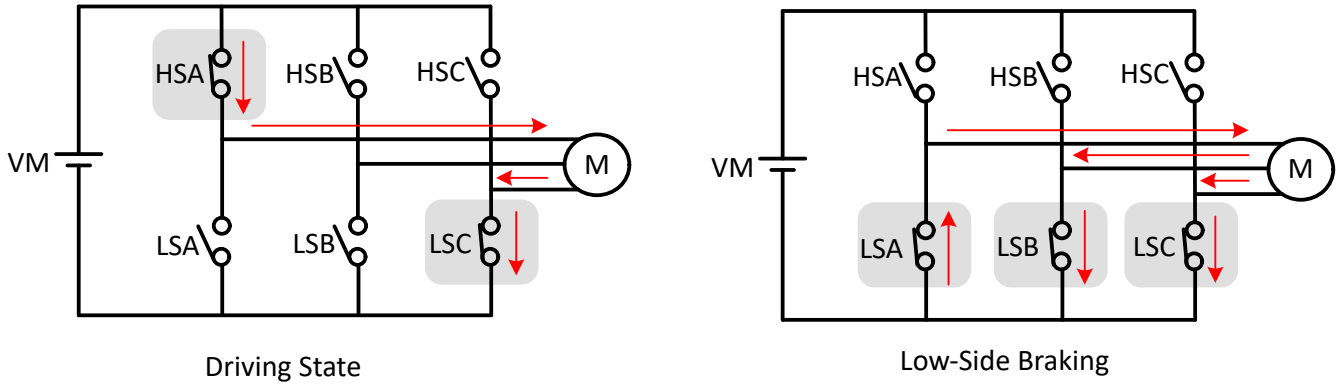


图 6-42. 低侧制动

MCT8316A-Q1 也可以通过 BRAKE 引脚输入进入低侧制动。当 BRAKE 引脚被拉至高电平状态时，输出速度将降低至由 BRAKE_DUTY_THRESHOLD 定义的值，然后使所有低侧 MOSFET 导通。在这种情况下，MCT8316A-Q1 保持在低侧制动状态，直到 BRAKE 引脚变为低电平状态。

6.3.19.4 高侧制动

可以通过将 MTR_STOP 设置为 011b 来配置高侧制动模式。接收到电机停止命令后，输出速度会降低到由 ACT_SPIN_BRK_THR 定义的值，然后使所有高侧 MOSFET 导通（请参阅示例图 6-43）达 MTR_STOP_BRK_TIME 配置的时长。如果在接收到停止命令之前电机速度低于 ACT_SPIN_BRK_THR，则 MCT8316A-Q1 直接转换至制动状态。在施加制动达 MTR_STOP_BRK_TIME 后，MCT8316A-Q1 会通过关断所有 MOSFET 转换至高阻态。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

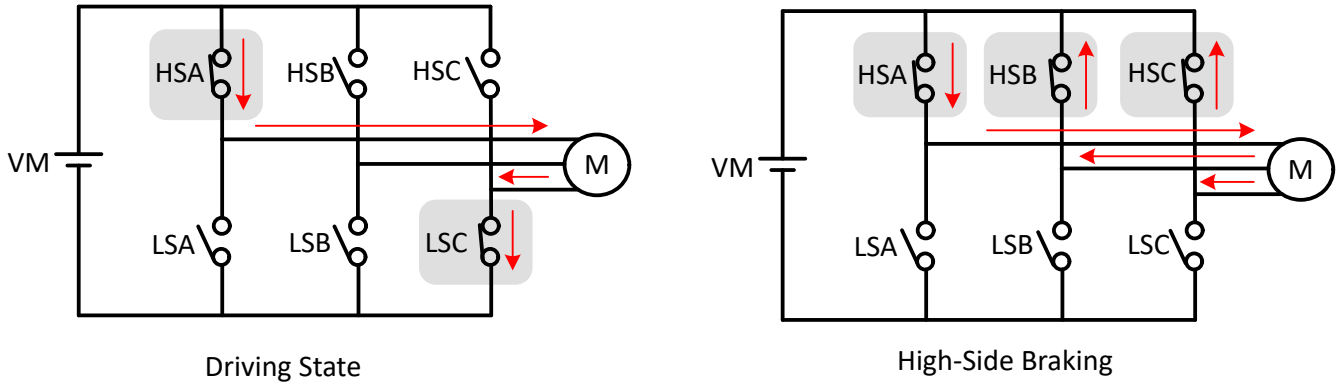


图 6-43. 高侧制动

6.3.19.5 主动降速

可以通过将 MTR_STOP 设置为 100b 来配置主动降速模式。当收到电机停止命令时，MCT8316A-Q1 将占空比降低到 ACT_SPIN_BRK_THR，然后通过关断所有 MOSFET 转换到高阻态。该模式的优点是通过减小占空比，电机减速到较低的速度，从而在进入高阻态之前减小相电流。现在，当电机转换到高阻态时，传输到电源的能量会减少。阈值 ACT_SPIN_BRK_THR 需要配置得足够高，从而确保 MCT8316A-Q1 与电机同步。

6.3.20 FG 配置

MCT8316A-Q1 通过频率生成 (FG) 引脚提供有关电机速度的信息。在 MCT8316A-Q1 中，FG 引脚输出通过 FG_CONFIG 进行配置。当 FG_CONFIG 配置为 1b 时，只要 MCT8316A-Q1 在驱动电机，FG 输出就有效。当 FG_CONFIG 配置为 0b 时，MCT8316A-Q1 提供 FG 输出，直到电机反电动势降至低于 FG_BEMF_THR。

6.3.20.1 FG 输出频率

可以通过 FG_DIV_FACTOR 来配置 FG 输出频率。在 MCT8316A-Q1 中，如果 FG_DIV_FACTOR 设置为 0000b，则 FG 在每个换向周期中切换一次。许多应用要求 FG 输出为电机的每周机械旋转提供一个脉冲。不同的 FG_DIV_FACTOR 配置可以为 2 极至 30 极电机实现这一点。

图 6-44 展示了当 MCT8316A-Q1 配置为每个换向周期（电周期/3）提供一次 FG 脉冲、每个电气周期（2 极）提供一次 FG 脉冲、每两个电气周期（4 极）提供一次 FG 脉冲、每三个电气周期（6 极）提供一次 FG 脉冲、每四个电气周期（8 极）提供一次 FG 脉冲等时的 FG 输出，等等。

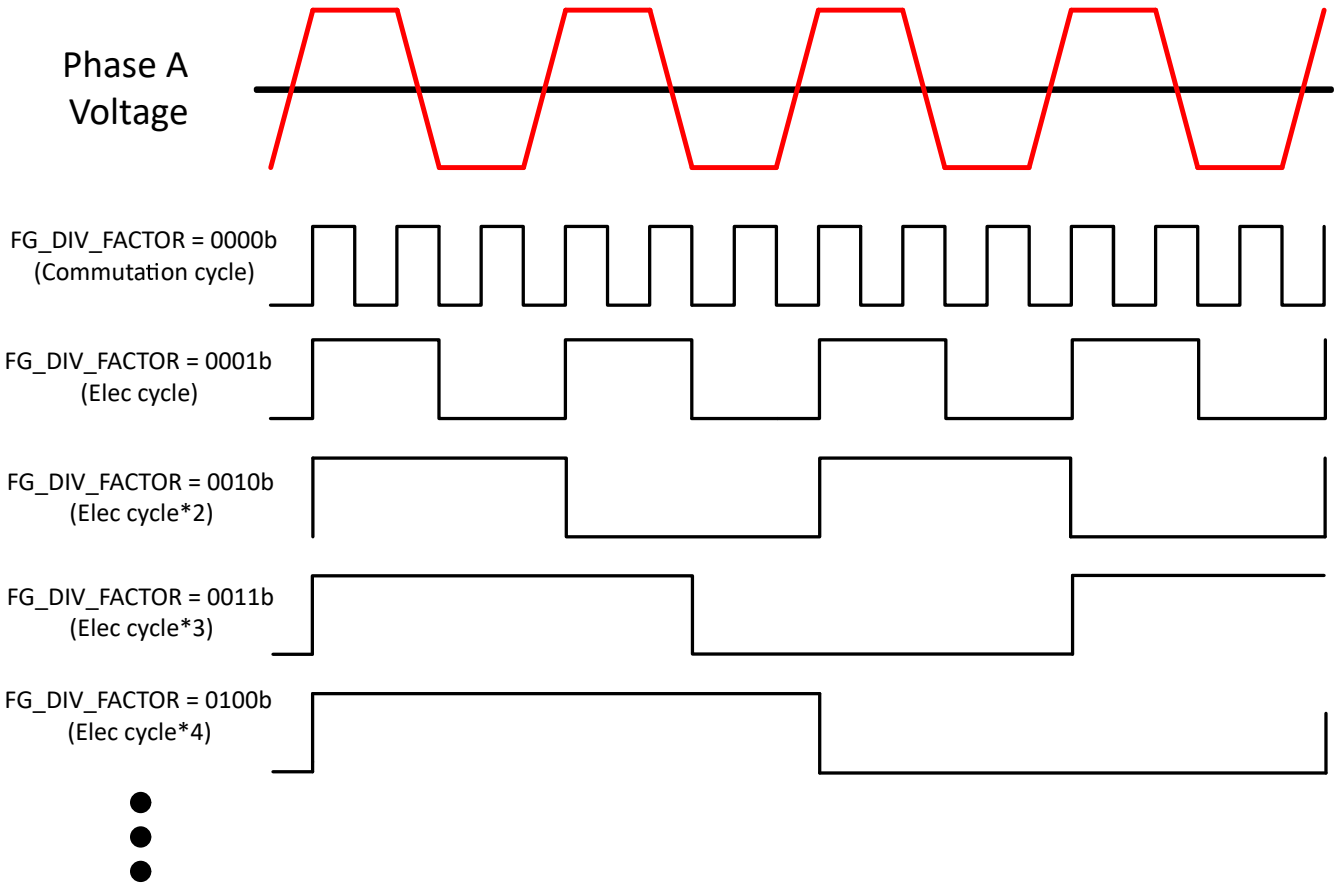


图 6-44. FG 分频器

6.3.20.2 FG 开环和锁定行为

在闭环运行期间，驱动速度（FG 输出频率）与实际电机转速同步。然而，在开环操作期间，FG 可能不会反映实际电机速度。在电机锁定情况下，FG 输出驱动为高电平。

MCT8316A-Q1 提供了三个用于在开环期间控制 FG 输出的选项，如图 6-45 所示。可以通过 FG_SEL 来配置如何选择这些选项。

如果 FG_SEL 被设置为以下值，则会产生下列行为：

- 00b：当处于开环时，FG 输出基于驱动频率。
- 01b：当处于开环时，FG 输出将被驱动为高电平。
- 10b：FG 输出将反映上电、睡眠/待机后第一个电机启动周期开环运行期间的驱动频率；在后续启动周期的开环运行期间，FG 将保持高电平。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

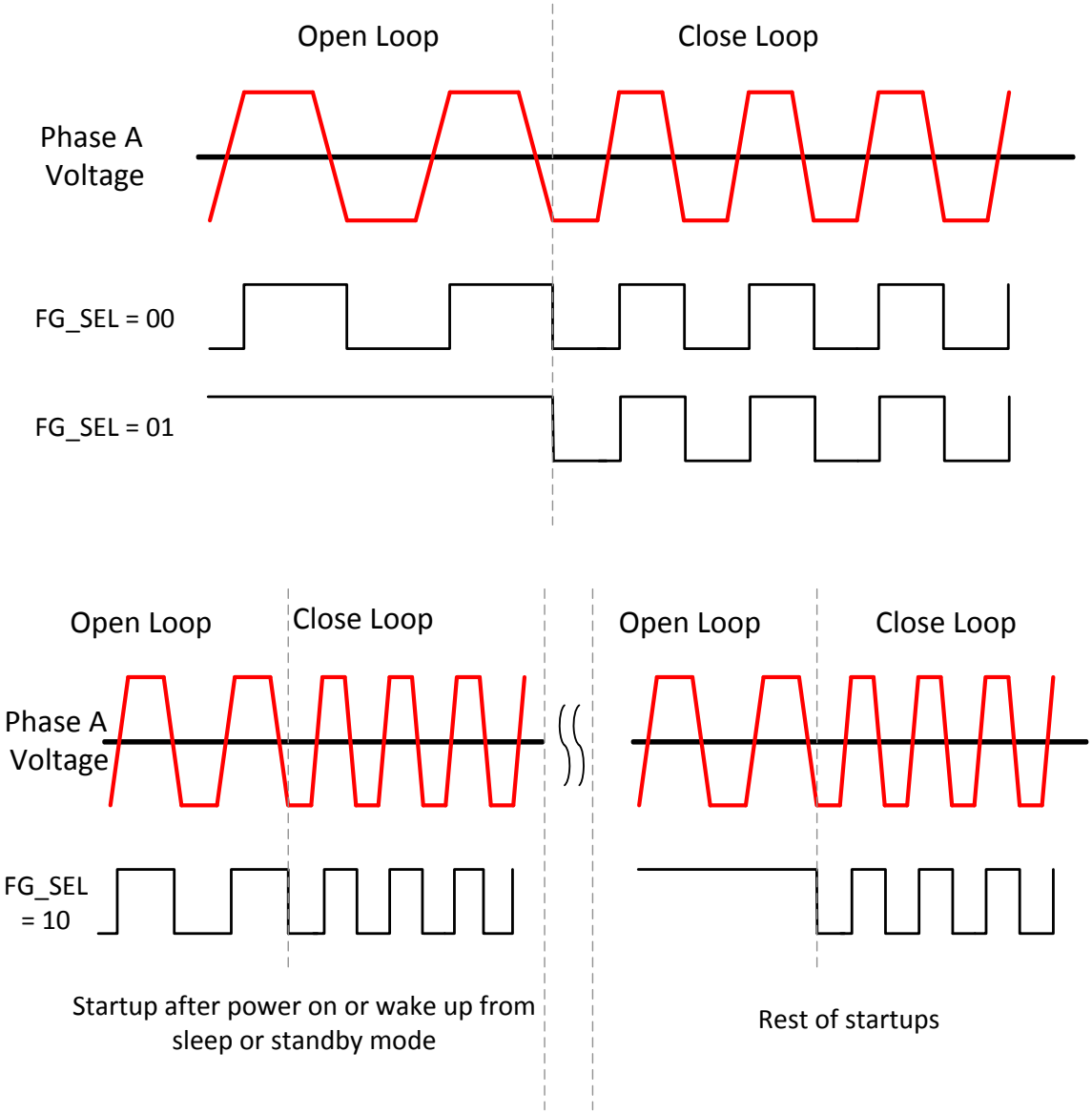


图 6-45. 开环期间的 FG 行为

6.3.21 保护功能

MCT8316A-Q1 针对许多故障事件提供了保护功能，包括电机锁定、VM 欠压、AVDD 欠压、降压欠压、电荷泵欠压、过热和过流事件。表 6-2 总结了不同故障的响应、恢复模式、功率级状态、报告机制。

表 6-2. 故障操作和响应

故障	条件	配置	报告	H 桥	逻辑	恢复
VM 欠压 (NPOR)	$V_{VM} < V_{UVLO}$	—	—	高阻态	禁用	自动：$V_{VM} > V_{UVLO}$
AVDD 欠压 (NPOR)	$V_{AVDD} < V_{AVDD_UV}$	—	—	高阻态	禁用	自动：$V_{AVDD} > V_{AVDD_UV}$
降压欠压 (BUCK_UV)	$V_{FB_BK} < V_{BK_UV}$	—	—	高阻态	禁用	自动：$V_{FB_BK} > V_{BK_UV}$
电荷泵欠压 (VCP_UV)	$V_{CP} < V_{CPUV}$	—	nFAULT 和 GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	自动：$V_{VCP} > V_{CPUV}$

表 6-2. 故障操作和响应（续）

故障	条件	配置	报告	H 桥	逻辑	恢复
过压保护 (OVP)	$V_{VM} > V_{OVP}$	OVP_EN = 0b	无	有效	有效	无操作（OVP 禁用）
		OVP_EN = 1b	nFAULT 和 GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	自动：$V_{VM} < V_{OVP}$
过流保护 (OCP)	$I_{PHASE} > I_{OCP}$	OCP_MODE = 00b	nFAULT 和 GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	锁存：CLR_FLT
		OCP_MODE = 01b	nFAULT 和 GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	重试：t_{RETRY}
		OCP_MODE = 10b	GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器	有效	有效	无操作
		OCP_MODE = 11b	无	有效	有效	无操作
降压过流保护 (BUCK_OCP)	$I_{BK} > I_{BK_OCP}$	—	—	高阻态	禁用	重试：t_{RETRY}
电机锁定 (MTR_LCK)	电机锁定：速度异常；无电机锁定；不同步	MTR_LCK_MODE = 0000b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	锁存：CLR_FLT
		MTR_LCK_MODE = 0001b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	再循环	有效	锁存：CLR_FLT
		MTR_LCK_MODE = 0010b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高侧制动	有效	锁存：CLR_FLT
		MTR_LCK_MODE = 0011b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	低侧制动	有效	锁存：CLR_FLT
		MTR_LCK_MODE = 0100b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	重试：t_{LCK_RETRY}
		MTR_LCK_MODE = 0101b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	再循环	有效	重试：t_{LCK_RETRY}
		MTR_LCK_MODE = 0110b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高侧制动	有效	重试：t_{LCK_RETRY}
		MTR_LCK_MODE = 0111b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	低侧制动	有效	重试：t_{LCK_RETRY}
		MTR_LCK_MODE = 1000b	CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	有效	有效	无操作
		MTR_LCK_MODE = 1xx1b	无	有效	有效	无操作

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-2. 故障操作和响应（续）

故障	条件	配置	报告	H 桥	逻辑	恢复
逐周期电流限制 (CBC_ILIMIT)	V_{SOX} > CBC_ILIMIT	CBC_ILIMIT_MODE = 0000b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	再循环	有效	自动：下一个 PWM 周期
		CBC_ILIMIT_MODE = 0001b	无	再循环	有效	自动：下一个 PWM 周期
		CBC_ILIMIT_MODE = 0010b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	再循环	有效	自动：V_{SOX} < ILIMIT
		CBC_ILIMIT_MODE = 0011b	无	再循环	有效	自动：V_{SOX} < ILIMIT
		CBC_ILIMIT_MODE = 0100b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	再循环	有效	自动：PWM 周期 > CBC_RETRY_PWM_CYC
		CBC_ILIMIT_MODE = 0101b	无	再循环	有效	自动：PWM 周期 > CBC_RETRY_PWM_CYC
		CBC_ILIMIT_MODE = 0110b	CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	有效	有效	无操作
		CBC_ILIMIT_MODE = 0111b、1xxxb	无	有效	有效	无操作
锁定检测电流限制 (LOCK_ILIMIT)	V_{SOX} > LOCK_ILIMIT	LOCK_ILIMIT_MODE = 0000b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	锁存：CLR_FLT
		LOCK_ILIMIT_MODE = 0001b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	再循环	有效	锁存：CLR_FLT
		LOCK_ILIMIT_MODE = 0010b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高侧制动	有效	锁存：CLR_FLT
		LOCK_ILIMIT_MODE = 0011b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	低侧制动	有效	锁存：CLR_FLT
		LOCK_ILIMIT_MODE = 0100b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	重试：t_{LCK_RETRY}
		LOCK_ILIMIT_MODE = 0101b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	再循环	有效	重试：t_{LCK_RETRY}
		LOCK_ILIMIT_MODE = 0110b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高侧制动	有效	重试：t_{LCK_RETRY}
		LOCK_ILIMIT_MODE = 0111b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	低侧制动	有效	重试：t_{LCK_RETRY}
		LOCK_ILIMIT_MODE = 1000b	CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	有效	有效	无操作
		LOCK_ILIMIT_MODE = 1xx1b	无	有效	有效	无操作
IPD 超时故障（IPD_T1_FAULT 和 IPD_T2_FAULT）	IPD TIME > 500ms（大约），在 IPD 电流上升或下降期间	—	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	锁存：CLR_FLT
IPD 频率故障 (IPD_FREQ_FAULT)	在前一个 IPD 中的电流衰减之前的 IPD 脉冲	—	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	锁存：CLR_FLT

表 6-2. 故障操作和响应（续）

故障	条件	配置	报告	H 桥	逻辑	恢复
热警告 (OTW)	$T_J > T_{OTW}$	OTW_REP = 0b	无	有效	有效	无操作
		OTW_REP = 1b	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	有效	有效	自动： $T_J < T_{OTW} - T_{OTW_HYS}$ CLR_FLT
热关断 (TSD)	$T_J > T_{TSD}$	—	nFAULT 和 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器	高阻态	有效	自动： $T_J < T_{TSD} - T_{TSD_HYS}$ CLR_FLT

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.21.1 VM 电源欠压锁定

如果在任何时候 VM 引脚上的输入电源电压降至低于 V_{UVLO} 阈值（VM UVLO 下降阈值），所有集成式 FET、驱动器电荷泵和数字逻辑都会被禁用，如图 6-46 所示。只要发生 VM UVLO 事件，MCT8316A-Q1 就会进入复位状态。

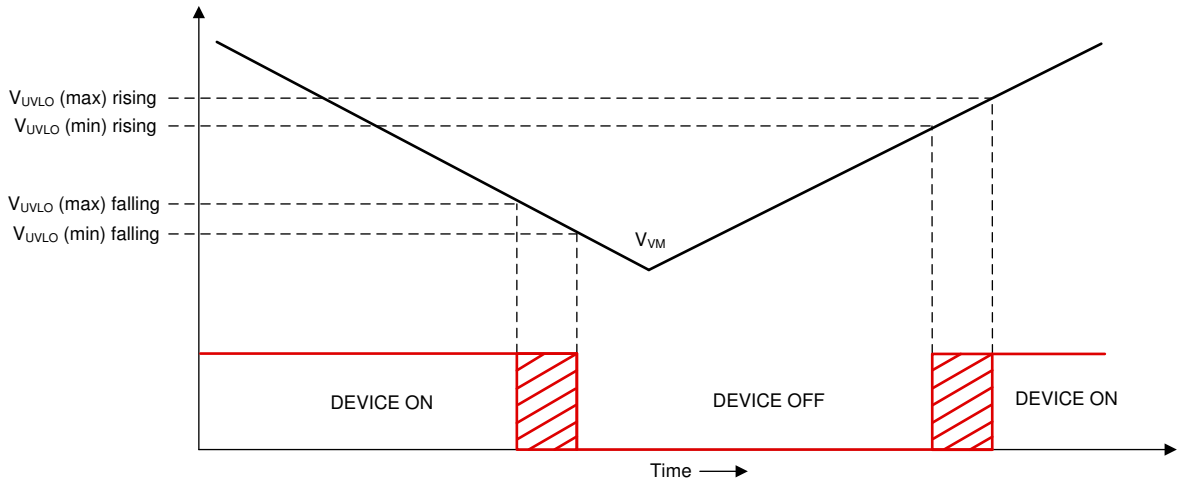


图 6-46. VM 电源欠压锁定

6.3.21.2 AVDD 欠压锁定 (AVDD_UV)

在任何时候，如果 AVDD 引脚上的电压降至 V_{AVDD_UV} 阈值以下，所有集成式 FET、驱动器电荷泵和数字逻辑控制器都会被禁用。由于 MCT8316A-Q1 中的内部电路通过 AVDD 稳压器供电，因此，只要发生 AVDD UV 事件，MCT8316A-Q1 就会进入复位状态。

6.3.21.3 BUCK 欠压锁定 (BUCK_UV)

如果在任何时候，FB_BK 引脚上的输入电源电压低于 V_{BK_UVLO} 阈值，则将禁用降压稳压器的高侧和低侧 MOSFET。由于 MCT8316A-Q1 中的内部电路通过降压稳压器供电，因此，只要发生降压 UV 事件，MCT8316A-Q1 就会进入复位状态。

6.3.21.4 VCP 电荷泵欠压锁定 (CPUV)

如果在任何时候 VCP 引脚（电荷泵）上的电压降至低于 V_{CPUV} 阈值，则会禁用所有集成式 FET 并将 nFAULT 引脚驱动至低电平。状态寄存器中的 DRIVER_FAULT 和 VCP_UV 位设置为 1b。VCP 欠压条件清除后，器件将恢复正常运行（驱动器运行且释放 nFAULT 引脚）。VCP_UV 位保持设置状态，直至通过 CLR_FLT 位清除。

6.3.21.5 过压保护 (OVP)

无论 VM 引脚上的输入电源电压何时上升至高于 V_{OVP} 阈值电压，都会禁用所有集成 FET 并将 nFAULT 引脚驱动至低电平。状态寄存器中的 DRIVER_FAULT 和 OVP 位设置为 1b。OVP 条件清除后，器件将恢复正常运行（驱动器运行且释放 nFAULT 引脚）。OVP 位保持设置状态，直至通过 CLR_FLT 位清除。将 OVP_EN 设置为 1b 将启用此保护特性。

可以根据 OVP_SEL 位将 OVP 阈值设置为 20V 或 32V。

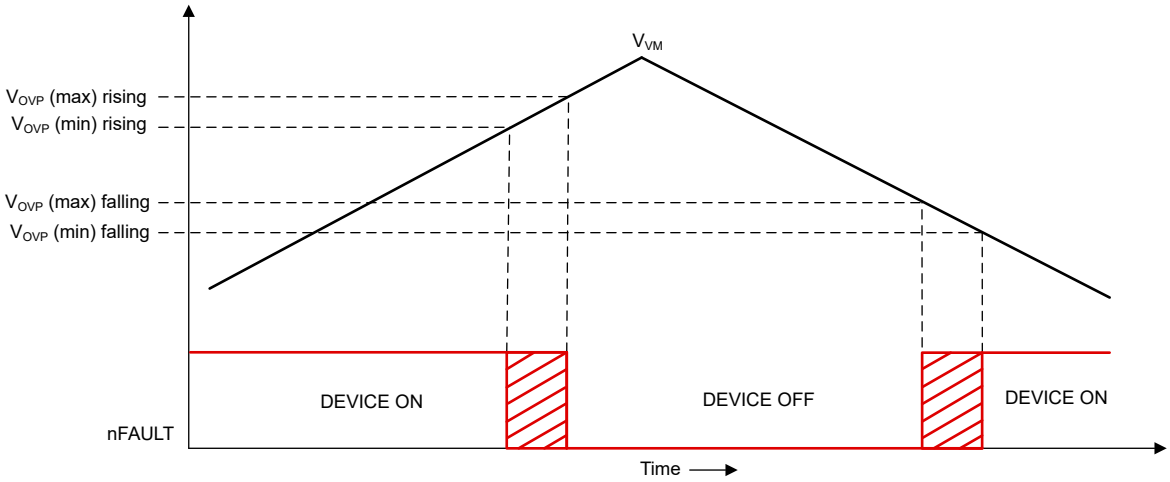


图 6-47. 过压保护

6.3.21.6 过流保护 (OCP)

可以通过监测流经 FET 的电流来检测 MOSFET 过流事件。如果流经 FET 的电流超过 I_{OCP} 阈值的时间长于 t_{OCP} 抗尖峰脉冲时间，则会识别出 OCP 事件并根据 OCP_MODE 位执行操作。可以通过 OCP_LVL 设置 I_{OCP} 阈值，通过 OCP_DEG 设置 t_{OCP_DEG}，而 OCP_MODE 位可以设置在四种不同模式下运行：OCP 锁存关断、OCP 自动重试、OCP 仅报告和 OCP 禁用。

6.3.21.6.1 OCP 锁存关断 (OCP_MODE = 00b)

当在此模式下发生 OCP 事件时，所有 MOSFET 都被禁用，nFAULT 引脚驱动为低电平。状态寄存器中的 DRIVER_FAULT、OCP 和相应 FET 的 OCP 位设置为 1b。当 OCP 条件清除并通过 CLR_FLT 位发出清除故障命令后，恢复正常运行（驱动器运行并释放 nFAULT 引脚）。

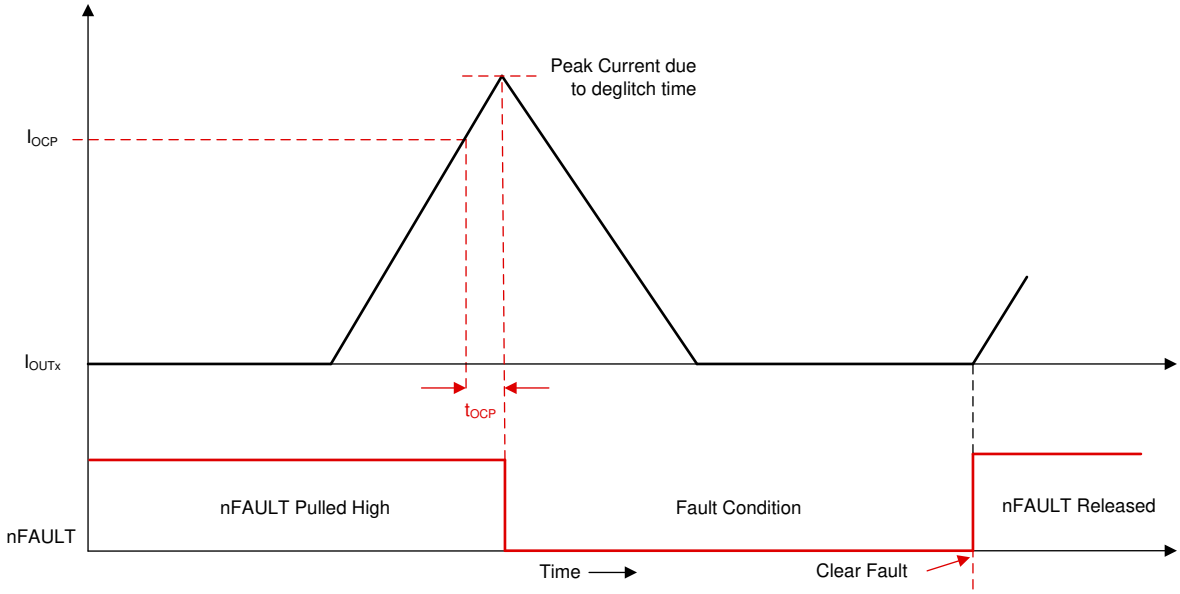


图 6-48. 过流保护 - 锁存关断模式

6.3.21.6.2 OCP 自动重试 (OCP_MODE = 01b)

在此模式下发生 OCP 事件时，所有 FET 都被禁用，nFAULT 引脚被驱动为低电平。故障状态寄存器中的 DRIVER_FAULT、OCP 和相应 FET 的 OCP 位设置为 1b。在 t_{RETRY} (OCP_RETRY) 时间过后，器件将自动恢复

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

正常运行（栅极驱动器运行且释放 nFAULT 引脚）。DRIVER_FAULT、OCP 和相应 FET 的 OCP 位设置为 1b，直至通过 CLR_FLT 位清除。

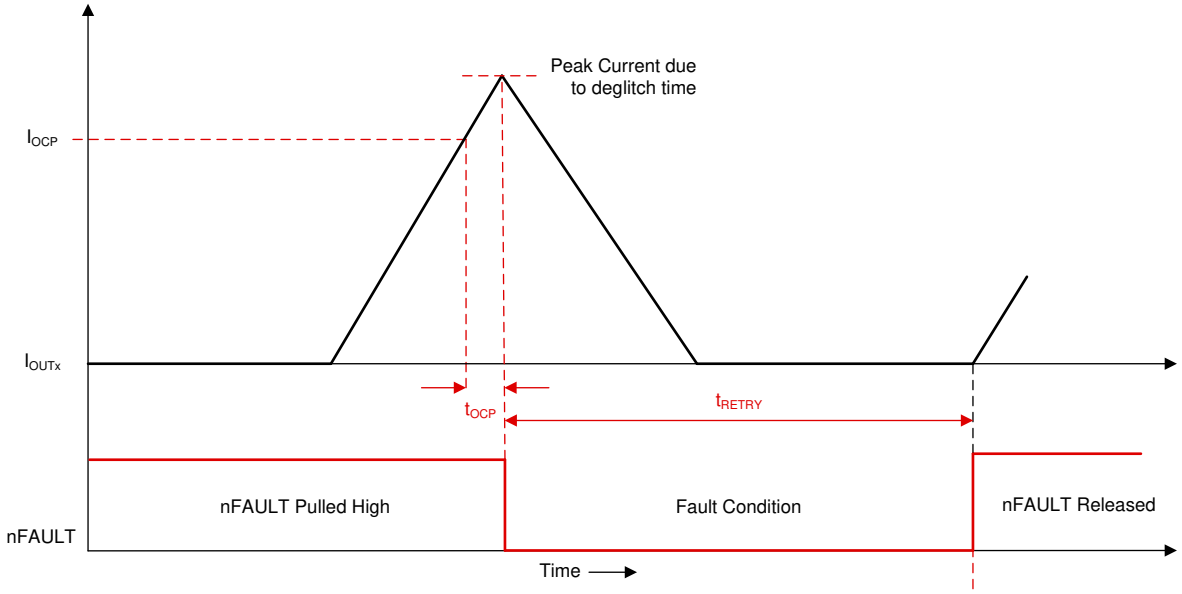


图 6-49. 过流保护 - 自动重试模式

6.3.21.6.3 OCP 仅报告 (OCP_MODE = 10b)

在该模式下发生 OCP 事件时不会执行任何保护性操作。通过在故障状态寄存器中将 DRIVER_FAULT、OCP 和相应 FET 的 OCP 位设置为 1b 来报告过流事件。器件继续照常运行。外部控制器通过适当的操作来管理过流状况。当 OCP 条件清除并通过 CLR_FLT 位发出清除故障命令后，报告清除。

6.3.21.6.4 OCP 已禁用 (OCP_MODE = 11b)

在该模式下发生 OCP 事件时不会执行任何操作。

6.3.21.7 降压过流保护

可以通过监测流经降压稳压器的高侧 MOSFET 的电流来检测降压过流事件。如果流经高侧 MOSFET 的电流超过 I_{BK_OCP} 阈值的时间长于抗尖峰脉冲时间 (t_{OCP_DEG})，则会识别出降压 OCP 事件。只要发生降压 OCP 事件，MCT8316A-Q1 就会进入复位状态，因为 MCT8316A-Q1 中的内部电路由降压稳压器输出供电。

6.3.21.8 逐周期 (CBC) 电流限制 (CBC_ILIMIT)

逐周期 (CBC) 电流限值提供了一种控制输送到电机的电流大小的方法。当系统必须限制在电机运行期间从电源拉出的电流大小时，此方法很有用。CBC 电流限值可限制施加到电机上的电流，使之不会超过配置的阈值。CBC 电流限制功能是通过将电流检测放大器的输出 V_{SOX} 连接到硬件比较器来实现的。如果电流检测放大器的输出电压超过 CBC_ILIMIT 阈值，则会识别到 CBC_ILIMIT 事件并根据 CBC_ILIMIT_MODE 执行相应的操作。对该事件的总反应延迟取决于电流检测放大器增益和比较器延迟。闭环中的 CBC 电流限值通过 CBC_ILIMIT 设置，而 OL_ILIMIT_CONFIG 的配置设置开环运行中的 CBC 电流限值。通过 CBC_ILIMIT_MODE 可以配置不同的模式：CBC_ILIMIT 自动恢复（下一个 PWM 周期）、CBC_ILIMIT 自动恢复（基于阈值）、CBC_ILIMIT 自动恢复（基于 PWM 周期数）、仅提供 CBC_ILIMIT 报告、禁用 CBC_ILIMIT。

6.3.21.8.1 CBC_ILIMIT 自动恢复下一个 PWM 周期 (CBC_ILIMIT_MODE = 000xb)

当在该模式下发生 CBC_ILIMIT 事件时，MCT8316A-Q1 停止使用再循环模式驱动 FET，以防止电感能量进入直流输入电源。故障状态寄存器中的 CBC_ILIMIT 位被设置为 1b。在下一个 PWM 周期开始时恢复正常运行，CBC_ILIMIT 位复位为 0b。CONTROLLER_FAULT 位和 nFAULT 引脚的状态将由 CBC_ILIMIT_MODE 决定。当

CBC_ILIMIT_MODE 为 0000b 时，CONTROLLER_FAULT 位被设置为 1b 并且 nFAULT 引脚被驱动为低电平，直到下一个 PWM 周期。当 CBC_ILIMIT_MODE 为 0001b 时，CONTROLLER_FAULT 位不会被设置为 1b 且 nFAULT 不会被驱动为低电平。

6.3.21.8.2 CBC_ILIMIT 基于自动恢复阈值 (CBC_ILIMIT_MODE = 001xb)

当在该模式下发生 CBC_ILIMIT 事件时，MCT8316A-Q1 停止使用再循环模式驱动 FET，以防止电感能量进入直流输入电源。状态寄存器中的 CBC_ILIMIT 位设置为 1b。在 V_{SOX} 降至低于 CBC_ILIMIT 阈值后恢复正常运行，CBC_ILIMIT 状态位设置为 0b。CONTROLLER_FAULT 位和 nFAULT 引脚的状态将由 CBC_ILIMIT_MODE 决定。当 CBC_ILIMIT_MODE 为 0010b 时，CONTROLLER_FAULT 位设置为 1b，nFAULT 引脚被驱动为低电平，直到 V_{SOX} 降至低于 CBC_ILIMIT 阈值。当 CBC_ILIMIT_MODE 为 0011b 时，CONTROLLER_FAULT 位不会被设置为 1b 且 nFAULT 不会被驱动为低电平。

6.3.21.8.3 CBC_ILIMIT 'n' 个 PWM 周期后自动恢复 (CBC_ILIMIT_MODE = 010xb)

当在该模式下发生 CBC_ILIMIT 事件时，MCT8316A-Q1 停止使用再循环模式驱动 FET，以防止电感能量进入直流输入电源。故障状态寄存器中的 CBC_ILIMIT 位被设置为 1b。在经过 (CBC_RETRY_PWM_CYC + 1) 个 PWM 周期后恢复正常运行，且 CBC_ILIMIT 位设置为 0b。CONTROLLER_FAULT 位和 nFAULT 引脚的状态将由 CBC_ILIMIT_MODE 决定。当 CBC_ILIMIT_MODE 为 0100b 时，CONTROLLER_FAULT 位被设置为 1b 且 nFAULT 引脚被驱动为低电平，直到经过 (CBC_RETRY_PWM_CYC + 1) 个 PWM 周期。当 CBC_ILIMIT_MODE 为 0101b 时，CONTROLLER_FAULT 位不会被设置为 1b 且 nFAULT 不会被驱动为低电平。

6.3.21.8.4 CBC_ILIMIT 仅报告 (CBC_ILIMIT_MODE = 0110b)

在该模式下发生 CBC_ILIMIT 事件时不会执行任何保护性操作。可以通过将故障状态寄存器中的 CONTROLLER_FAULT 和 CBC_ILIMIT 位设置为 1b 来报告 CBC 电流限值事件。栅极驱动器继续运行。外部控制器通过适当的操作来管理过流状况。当 CBC_ILIMIT 条件清除并通过 CLR_FLT 位发出清除故障命令后，报告清除。

6.3.21.8.5 CBC_ILIMIT 已禁用（CBC_ILIMIT_MODE = 0111b 或 1xxxb）

在该模式下发生 CBC_ILIMIT 事件时不会执行任何操作。

6.3.21.9 锁定检测电流限制 (LOCK_ILIMIT)

锁定检测限流功能提供了一个可配置的阈值来限制电流，防止损坏系统。MCT8316A-Q1 通过 ADC 持续监测电流检测放大器 (CSA) 的输出。在任何时候，如果 CSA 输出端的电压超过 LOCK_ILIMIT 阈值的时间长于 t_{LCK_ILIMIT}，则会识别到 LOCK_ILIMIT 事件并根据 LOCK_ILIMIT_MODE 执行相应的操作。可以通过 LOCK_ILIMIT 来设置阈值，可以通过 LOCK_ILIMIT_DEG 来设置 t_{LCK_ILIMIT}。LOCK_ILIMIT_MODE 可以设置为四种不同的模式：LOCK_ILIMIT 锁存关断、LOCK_ILIMIT 自动重试，仅报告 LOCK_ILIMIT 和禁用 LOCK_ILIMIT。

6.3.21.9.1 LOCK_ILIMIT 锁存关断 (LOCK_ILIMIT_MODE = 00xxb)

在该模式下发生 LOCK_ILIMIT 事件时，MOSFET 的状态将由 LOCK_ILIMIT_MODE 配置并且 nFAULT 被驱动为低电平。LOCK_ILIMIT 期间 MOSFET 的状态：

- LOCK_ILIMIT_MODE = 0000b：所有 MOSFET 均被关断。
- LOCK_ILIMIT_MODE = 0001b：正在开关的 MOSFET 被关断，而导通的 MOSFET 保持导通，直到电感能量完全再循环。
- LOCK_ILIMIT_MODE = 0010b：所有高侧 MOSFET 均导通。
- LOCK_ILIMIT_MODE = 0011b：所有低侧 MOSFET 均导通。

故障状态寄存器中的 CONTROLLER_FAULT 和 LOCK_ILIMIT 位被设置为 1b。当 LOCK_ILIMIT 条件清除并通过 CLR_FLT 位发出清除故障命令后，恢复正常运行（栅极驱动器运行并且 nFAULT 引脚被释放）。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.21.9.2 LOCK_ILIMIT 自动恢复 (LOCK_ILIMIT_MODE = 01xxb)

在该模式下发生 LOCK_ILIMIT 事件时，MOSFET 的状态将由 LOCK_ILIMIT_MODE 配置并且 nFAULT 被驱动为低电平。LOCK_ILIMIT 期间 MOSFET 的状态：

- LOCK_ILIMIT_MODE = 0100b：所有 MOSFET 均被关断。
- LOCK_ILIMIT_MODE = 0101b：正在开关的 MOSFET 被关断，而导通的 MOSFET 保持导通，直到电感能量完全再循环。
- LOCK_ILIMIT_MODE = 0110b：所有高侧 MOSFET 均导通
- LOCK_ILIMIT_MODE = 0111b：所有低侧 MOSFET 均导通

故障状态寄存器中的 CONTROLLER_FAULT 和 LOCK_ILIMIT 位被设置为 1b。在经过 t_{LCK_RETRY}（由 LCK_RETRY 进行配置）时间后，会自动恢复正常运行（栅极驱动器运行并且 nFAULT 引脚被释放）。在 t_{LCK_RETRY} 周期到期后，CONTROLLER_FAULT 和 LOCK_ILIMIT 位被重置为 0b。

6.3.21.9.3 LOCK_ILIMIT 仅报告 (LOCK_ILIMIT_MODE = 1000b)

在该模式下发生 LOCK_ILIMIT 事件时不会执行任何保护性操作。可以通过将故障状态寄存器中的 CONTROLLER_FAULT 和 LOCK_ILIMIT 位设置为 1b 来报告锁定检测电流限制事件。栅极驱动器继续运行。外部控制器通过适当的操作来管理该情况。当 LOCK_ILIMIT 条件清除并通过 CLR_FLT 位发出清除故障命令后，报告清除。

6.3.21.9.4 LOCK_ILIMIT 已禁用 (LOCK_ILIMIT_MODE = 1xx1b)

在该模式下发生 LOCK_ILIMIT 事件时不会执行任何操作。

6.3.21.10 热警告 (OTW)

如果内核温度超过热警告限值 (T_{OTW})，状态寄存器中的 OT 和 OTW 位设置为 1b。可以通过将 OTW_REP 设置为 1b，在 nFAULT 引脚上启用 OTW 报告。器件不会执行任何其他操作，并且会继续运行。在这种情况下，当内核温度降至低于热警告限值的迟滞点 (T_{OTW} - T_{OTW_HYS}) 时，会释放 nFAULT 引脚。OTW 位保持设置状态，直到通过 CLR_FLT 位清除并且内核温度低于热警告限值。(T_{OTW})。

备注

默认情况下，不会在 nFAULT 引脚上报告过热警告 (OTW)。

6.3.21.11 热关断 (TSD)

如果内核温度超过热关断限值 (T_{TSD})，则会禁用 FET、关断电荷泵并将 nFAULT 引脚驱动为低电平。此外，状态寄存器中的 DRIVER_FAULT、OT 和 TSD 位设置为 1b。当内核温度降至低于热关断限制的迟滞点 (T_{TSD} - T_{TSD_HYS}) 时，将恢复正常运行（驱动器运行且释放 nFAULT 引脚）。TSD 位保持锁存为高电平，指示发生了热事件，直到通过 CLR_FLT 位发出清除故障命令。无法禁用此保护功能。

6.3.21.12 电机锁定 (MTR_LCK)

MCT8316A-Q1 会在电机运行期间持续检查是否存在不同的电机锁定情况（请参阅 电机锁定检测 ）。当启用的锁定情况之一发生时，会识别到 MTR_LCK 事件并根据 MTR_LCK_MODE 执行操作。

在 MCT8316A-Q1 中，所有锁定都可以单独启用或禁用，并且可以通过 LCK_RETRY 配置重试次数。MTR_LCK_MODE 位可以在四种不同的模式下运行：MTR_LCK 锁存关断、MTR_LCK 自动重试、仅报告 MTR_LCK 和禁用 MTR_LCK。

6.3.21.12.1 MTR_LCK 锁存关断 (MTR_LCK_MODE = 00xxb)

当在该模式下发生 MTR_LCK 事件时，MOSFET 的状态将由 MTR_LCK_MODE 进行配置并且 nFAULT 被驱动为低电平。MTR_LCK 期间 MOSFET 的状态：

- MTR_LCK_MODE = 0000b：所有 MOSFET 均被关断。

- MTR_LCK_MODE = 0001b：正在开关的 MOSFET 被关断，而导通的 MOSFET 保持导通状态，直到电感能量完全再循环。
- MTR_LCK_MODE = 0010b：所有高侧 MOSFET 均导通。
- MTR_LCK_MODE = 0011b：所有低侧 MOSFET 均导通。

故障状态寄存器中的 CONTROLLER_FAULT、MTR_LCK 和相应的电机锁定条件位被设置为 1b。当 MTR_LCK 条件清除并通过 CLR_FLT 位发出清除故障命令后，恢复正常运行（栅极驱动器运行并且 nFAULT 引脚被释放）。

6.3.21.12.2 MTR_LCK 自动恢复 (MTR_LCK_MODE= 01xxb)

当在该模式下发生 MTR_LCK 事件时，MOSFET 的状态将由 MTR_LCK_MODE 进行配置并且 nFAULT 被驱动为低电平。MTR_LCK 期间 MOSFET 的状态：

- MTR_LCK_MODE = 0100b：所有 MOSFET 均被关断。
- MTR_LCK_MODE = 0101b：正在开关的 MOSFET 被关断，而导通的 MOSFET 保持导通状态，直到电感能量完全再循环。
- MTR_LCK_MODE = 0110b：所有高侧 MOSFET 均导通。
- MTR_LCK_MODE = 0111b：所有低侧 MOSFET 均导通。

故障状态寄存器中的 CONTROLLER_FAULT、MTR_LCK 和相应的电机锁定条件位被设置为 1b。在经过 t_{LCK_RETRY}（由 LCK_RETRY 进行配置）时间后，会自动恢复正常运行（栅极驱动器运行并且 nFAULT 引脚被释放）。在 t_{LCK_RETRY} 周期到期后，CONTROLLER_FAULT、MTR_LCK 和相应的电机锁定条件位被重置为 0b。

6.3.21.12.3 MTR_LCK 仅报告 (MTR_LCK_MODE = 1000b)

在该模式下发生 MTR_LCK 事件时不会执行任何保护性操作。通过将故障状态寄存器中的 CONTROLLER_FAULT、MTR_LCK 和相应的电机锁定条件位设置为 1b 来报告电机锁定事件。栅极驱动器继续运行。外部控制器通过适当的操作来管理该情况。当 MTR_LCK 条件清除并通过 CLR_FLT 位发出清除故障命令后，报告清除。

6.3.21.12.4 MTR_LCK 已禁用 (MTR_LCK_MODE = 1xx1b)

在该模式下发生 MTR_LCK 事件时不会执行任何操作。

6.3.21.13 电机锁定检测

MCT8316A-Q1 提供不同的锁定检测机制来确定电机是否处于锁定状态。多种检测机制协同工作，确保快速可靠地检测到锁定情况。除了检测是否存在电机锁定情况外，如果没有电机连接到系统，MCT8316A-Q1 还可以识别出该情况并执行相应的操作。可以通过相应的寄存器位 (LOCK1/2/3_EN) 来禁用每个锁定检测机制和无电机检测。

6.3.21.13.1 锁定 1：异常速度 (ABN_SPEED)

MCT8316A-Q1 持续监测速度，在任何时候如果速度超过 LOCK_ABN_SPEED，就会识别到 ABN_SPEED 锁定事件并根据 MTR_LCK_MODE 执行操作。

可以通过 LOCK_ABN_SPEED 寄存器来设置阈值。可以通过 LOCK1_EN 来启用/禁用 ABN_SPEED 锁定。

6.3.21.13.2 锁定 2：同步丢失 (LOSS_OF_SYNC)

通过检测处于高阻态的相位上的过零来对电机进行换向。如果电机被锁定，那么反电动势将消失，MCT8316A-Q1 将无法检测到过零。如果 MCT8316A-Q1 无法检测到过零的次数达到 LOSS_SYNC_TIMES，则会识别到 LOSS_OF_SYNC 事件并根据 MTR_LCK_MODE 执行操作。可以通过 LOCK2_EN 来启用/禁用 LOSS_OF_SYNC 锁定。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.3.21.13.3 Lock3：无电机故障 (NO_MTR)

MCT8316A-Q1 持续监测相关相电流（当前相位模式中的低侧相位）；如果相关相电流保持低于 NO_MTR_THR 的时间长于 NO_MTR_DEG_TIME，则会识别到 NO_MTR 事件。可以通过 MTR_LCK_MODE 来配置对 NO_MTR 事件的响应。可以通过 LOCK3_EN 来启用/禁用 NO_MTR 锁定。

6.3.21.14 IPD 故障

当电机启动配置为 IPD（MTR_STARTUP 被设置为 10b）时，MCT8316A-Q1 使用 12 位计时器来估算 IPD 期间电流上升和下降的时间。在 IPD 期间，算法从 10MHz 的 IPD 时钟开始检查电流是否成功上升到 IPD_CURR_THR；如果不成功（在电流达到 IPD_CURR_THR 之前计时器溢出），则会依次使用 1MHz、100kHz 和 10kHz 的较低频率时钟重复 IPD。如果 IPD 计时器在全部四个时钟频率下溢出（电流未达到 IPD_CURR_THR），则会触发 IPD_T1_FAULT。类似地，算法使用所有提到的 IPD 时钟频率检查在 IPD 电流下降期间电流是否成功衰减到零。如果在全部四次尝试中 IPD 计时器都溢出（电流未下降到零），则会触发 IPD_T2_FAULT。

如果在当前 IPD 脉冲导致电流完全衰减之前命令发送下一个 IPD 脉冲，则 IPD 会给出不正确的结果。MCT8316A-Q1 可以在这种情况下生成 IPD_FREQ_FAULT 故障。如果 IPD 频率对于 IPD 电流限制和 IPD 释放模式而言过高，或者如果电机电感对于 IPD 频率、IPD 电流限制和 IPD 释放模式而言过高，则可能会触发 IPD_FREQ_FAULT。

6.4 器件功能模式

6.4.1 功能模式

6.4.1.1 睡眠模式

在睡眠模式下，MOSFET、检测放大器、降压稳压器、电荷泵、AVDD LDO 稳压器和 I²C 总线处于禁用状态。通过将 DEV_MODE 配置为 1b，可以将器件配置为进入睡眠（而不是待机）模式。SPEED 引脚确定进入和退出睡眠状态的条件，如表 6-3 所述。

备注

在器件上电和下电期间，nFAULT 引脚保持低电平，因为内部稳压器被禁用。启用稳压器后，nFAULT 引脚会自动释放。

6.4.1.2 待机模式

在待机模式下，电荷泵、AVDD LDO、降压稳压器和 I²C 总线处于工作状态。可以通过将 DEV_MODE 配置为 0b 来将器件配置为进入待机模式。SPEED 引脚确定进入和退出待机状态的条件，如表 6-3 所述。

6.4.1.3 故障复位 (CLR_FLT)

在存在锁存故障的情况下，器件会进入部分关断状态，以帮助保护功率 MOSFET 和系统。当故障条件清除后，器件可以通过将 CLR_FLT 设置为 1b 再次进入工作状态。

表 6-3. 进入或退出睡眠或待机模式的条件

速度命令模式	进入待机条件	进入睡眠条件	退出待机条件	退出睡眠条件
模拟	SPEED 引脚电压 < V_{EN_SB} 的时间达到 $t_{DET_SB_ANA}$	SPEED 引脚电压 < V_{EN_SL} 的时间达到 $t_{DET_SL_ANA}$	SPEED 引脚电压 > V_{EX_SB} 的时间达到 t_{DET_ANA}	SPEED 引脚电压 > V_{EX_SL} 的时间达到 t_{DET_ANA}
PWM 频率	SPEED 引脚处于低电平 (V < V_{DIG_IL}) 的时间达到 $t_{EN_SB_PWM}$/$t_{EN_SB_FREQ}$	SPEED 引脚处于低电平 (V < V_{DIG_IL}) 的时间达到 $t_{DET_SL_PWM}$/$t_{DET_SL_FREQ}$	SPEED 引脚处于高电平 (V > V_{DIG_IH}) 的时间达到 t_{DET_PWM}	SPEED 引脚处于高电平 (V > V_{DIG_IH}) 的时间达到 t_{DET_PWM}
I²C	SPEED_CTRL 设置为零。	SPEED 引脚电压 < V_{EN_SL} 的时间达到 t > SLEEP_TIME 和 SPEED_CTRL 设置为零。	SPEED_CTRL 设置为非零值。	SPEED 引脚电压 > V_{EX_SL} 的时间达到 t_{DET_ANA}

6.5 外部接口

6.5.1 DRVOFF 功能

当 DRVOFF 引脚驱动至高电平时，所有六个 MOSFET 均被禁用。在此模式下，如果 SPEED 引脚为高电平，则电荷泵、AVDD 稳压器、降压稳压器和 I²C 总线处于活动状态，而 OCP 等驱动器故障处于非活动状态。

6.5.2 DAC 输出

MCT8316A-Q1 有两个 12 位 DAC，可在 DACOUT1 和 DACOUT2 引脚上输出相当于数字变量的模拟电压，分辨率为 12 位，最大电压为 3V。DACOUT 引脚上的信号可用于实时跟踪算法变量，并可用于调优速度控制器或电机加速时间。DACOUT1 和 DACOUT2 的变量地址使用 DACOUT1_VAR_ADDR 和 DACOUT2_VAR_ADDR 来配置。通过将 DAC_SOX_CONFIG 设置为 00b，可在引脚 37 上提供 DACOUT1，并可在引脚 36 上配置 DACOUT2。DACOUT2 也可在引脚 38 上提供。

6.5.3 SOX 输出

MCT8316A-Q1 可在 SOX 引脚上提供内置电流检测放大器的输出。SOX 输出在引脚 36 上提供，并可通过 DAC_SOX_CONFIG 配置。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.5.4 振荡源

MCT8316A-Q1 有一个内置振荡器，用作所有数字外设和时序测量的时钟源。MCT8316A-Q1 的默认配置是使用内部振荡器，该振荡器足以驱动电机而不需要任何外部晶体或时钟源。

如果 MCT8316A-Q1 不满足时序测量或速度环路的精度要求，则 MCT8316A-Q1 提供了支持外部时钟基准的选项。

为了改善 EMI 性能，MCT8316A-Q1 提供了通过启用展频调制 (SSM)（通过 SSM_CONFIG）来调制时钟频率的选项。

。

6.5.4.1 外部时钟源

通过在 EXT_CLK 引脚上提供更精确的可选时钟基准，可以提高 MCT8316A-Q1 在宽工作温度范围内的速度环路精度，如图 6-50 所示。EXT_CLK 将用于校准内部时钟振荡器并匹配外部时钟的精度。可以通过将 CLK_SEL 配置为 11b 并将 EXT_CLK_EN 设置为 1b 来选择外部时钟源。可以通过 EXT_CLK_CONFIG 来配置外部时钟源频率。

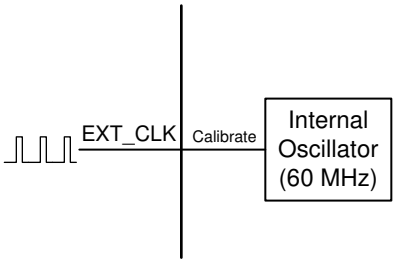


图 6-50. 外部时钟基准

备注

外部时钟是可选的，可以在需要更高时钟精度时使用。MCT8316A-Q1 将在所有模式下始终使用内部振荡器上电。

6.5.5 外部看门狗

MCT8316A-Q1 具有外部看门狗特性 - EXT_WD_EN 位应设置为 1b 以启用外部看门狗。启用该特性后，器件在配置的时间间隔内等待来自外部看门狗输入的滴答声（在 GPIO 模式中从低电平转换到高电平，在 I²C 模式下 EXT_WD_STATUS_SET 设置为 1b）；如果两个连续滴答声之间的时间间隔高于配置的时间，则会触发看门狗故障。可以使用 EXT_WD_FAULT 将该故障配置为仅报告故障或输出处于高阻态状态下的锁存故障。可以通过向 CLR_FLT 写入 1b 来清除锁存的故障。如果在所配置的时间间隔过去之前出现下一个滴答声，则看门狗计时器将复位并开始等待下一个滴答声。这可用于连续监测外部 MCU（即外部看门狗输入）的运行状况，并在外部 MCU 处于错误状态的情况下将 MCT8316A-Q1 输出置于高阻态。

使用 EXT_WD_INPUT 选择外部看门狗输入，该输入可以是 EXT_WD 引脚或 I²C 接口。触发看门狗故障的两个滴答声之间的时间间隔由 EXT_WD_FREQ 配置；对于基于 EXT_WD 引脚的看门狗，4 种时间（频率）设置为 100ms (10Hz)、200ms (5Hz)、500ms (2Hz) 和 1000ms (1Hz)。

6.6 EEPROM 访问和 I²C 接口

6.6.1 EEPROM 访问

MCT8316A-Q1 有 1024 位（16 行，每行 64 位）的 EEPROM，用于存储电机配置参数。擦除操作是按行进行的（全部 64 位都在一次擦除操作中被擦除），但支持 32 位写入和读取操作。可以使用 I²C 串行接口对 EEPROM 进行写入和读取，但无法使用 I²C 串行接口执行擦除操作。对应于 EEPROM 的影子寄存器位于地址 0x000080-0x0000AE。

备注

仅在电机未旋转时 MCT8316A-Q1 才允许进行 EEPROM 写入和读取操作。

6.6.1.1 EEPROM 写入

在 MCT8316A-Q1 中，EEPROM 写入过程如下所示。

1. 将 ISD 配置（例如启用重新同步、启用反向驱动、静止检测阈值等）写入寄存器 0x000080 (ISD_CONFIG)。
2. 将电机启动配置（例如启动方法、首循环频率、IPD 参数、对齐参数等）写入寄存器 0x000082 (MOTOR_STARTUP1)。
3. 将电机启动配置（例如开环加速、最小占空比等）写入寄存器 0x000084 (MOTOR_STARTUP2)。
4. 将电机控制配置（例如闭环加速、PWM 频率、PWM 调制等）写入寄存器 0x000086 (CLOSED_LOOP1)。
5. 将电机控制配置（例如 FG 信号参数、电机停止选项等）写入寄存器 0x000088 (CLOSED_LOOP2)。
6. 将电机控制配置（例如，快速启动和动态去磁参数，包括 BEMF 阈值、占空比阈值等）写入寄存器 0x00008A (CLOSED_LOOP3)。
7. 将电机控制配置（例如快速减速参数，包括快速减速占空比阈值、窗口、电流限值等）写入寄存器 0x00008C (CLOSED_LOOP4)。
8. 将电机控制配置（例如速度环路参数，包括闭环模式、饱和限值、K_p、K_i 等）写入寄存器 0x00008E (CONST_SPEED)。
9. 将电机控制配置（例如输入功率调节参数，包括最大功率、恒定功率模式、功率级别滞后、最大速度等）写入寄存器 0x000090 (CONST_PWR)。
10. 将故障控制配置（例如 CBC、锁定电流限值和操作、重试次数等）写入寄存器 0x000092 (FAULT_CONFIG1)。
11. 将故障控制配置（例如 OV、UV 限值和操作、异常速度水平、电机锁定设置等）写入寄存器 0x000094 (FAULT_CONFIG2)。
12. 将 150º 调制的 PWM 占空比配置写入寄存器 0x000096 和 0x000098（150_DEG_TWO_PH_PROFILE 和 150_DEG_THREE_PH_PROFILE）。
13. 将 ISD BEMF 阈值、消隐时间、AVS 电流限制等算法参数写入寄存器 0x00009A 和 0x00009C（TRAP_CONFIG1 和 TRAP_CONFIG2）。
14. 将 DIR、BRAKE、DACOUT1 和 DACOUT2、SOX、外部看门狗等的引脚配置写入寄存器 0x0000A4 和 0x0000A6（PIN_CONFIG1 和 PIN_CONFIG2）。
15. 将器件配置（例如器件模式、启用外部时钟、时钟源、速度输入 PWM 频率范围等）写入寄存器 0x0000A8 (DEVICE_CONFIG)。
16. 将栅极驱动器配置（如压摆率、CSA 增益、OCP 电平、模式、启用 OVP 等）写入寄存器 0x0000AC 和 0x0000AE（GD_CONFIG1 和 GD_CONFIG2）。
17. 将 0x80000000 写入寄存器 0x0000E6，以将影子寄存器 (0x000080-0x0000AE) 值写入 EEPROM。
18. 等待 100ms 以便 EEPROM 写入操作完成。

可以根据需要修改的寄存器/参数选择性地执行步骤 1-16。在所有影子寄存器都更新为所需的值后，应执行步骤 17 将影子寄存器的内容复制到 EEPROM 中。

6.6.1.2 EEPROM 读取

在 MCT8316A-Q1, 中，EEPROM 读取过程如下所示。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

1. 将 0x40000000 写入寄存器 0x0000E6，以将 EEPROM 数据读入影子寄存器 (0x000080-0x0000AE)。
2. 等待 100ms 以便 EEPROM 读取操作完成。
3. 使用 I²C 读取命令读取影子寄存器值，一次读取 1 或 2 个寄存器，如节 6.6.2 中所述。影子寄存器地址处于 0x000080-0x0000AE 范围之内。对于 32 位读取操作，寄存器地址以 2 为阶跃增加（因为每个地址都是一个 16 位位置）。

6.6.2 I²C 串行接口

MCT8316A-Q1 通过 I²C 串行接口与外部 MCU 进行连接。MCT8316A-Q1 是一个要与控制器连接的 I²C 目标。外部 MCU 可以使用该接口对 MCT8316A-Q1 中的任何非保留寄存器进行读取/写入。

备注

为实现可靠通信，应在通过 I²C 总线传输的每个字节之间使用 100µs 延迟。

6.6.2.1 I²C 数据字

表 6-4 展示了 I²C 数据字格式。

表 6-4. I²C 数据字格式

TARGET_ID	R/W	CONTROL WORD	DATA	CRC-8
A6 - A0	W0	CW23 - CW0	D15/D31/D63 - D0	C7 - C0

目标 ID 和 R/W 位：第一个字节包含 7 位 I²C 目标 ID (0x00)，后跟读取/写入命令位。对于 MCT8316A-Q1 中的每个数据包，通信协议都以写入 24 位控制字开始，因此 R/W 位始终为 0。

24 位控制字：目标地址后跟一个 24 位控制位。表 6-5 展示了控制字格式。

表 6-5. 24 位控制字格式

OP_R/W	CRC_EN	DLEN	MEM_SEC	MEM_PAGE	MEM_ADDR
CW23	CW22	CW21 - CW20	CW19 - CW16	CW15 - CW12	CW11 - CW0

下面详细说明了控制字中的每个字段。

OP_R/W – 读取/写入：R/W 位提供有关这是读取操作还是写入操作的信息。位值 0 表示这是一个写入操作。位值 1 表示这是一个读取操作。对于写入操作，MCT8316A-Q1 将预计在 24 位控制字之后发送数据字节。对于读取操作，MCT8316A-Q1 将预计在 24 位控制字之后具有包含重复启动或正常启动的 I²C 读取请求。

CRC_EN – 启用循环冗余校验 (CRC)：MCT8316A-Q1 支持通过 CRC 来验证数据完整性。该位控制是否启用 CRC 功能。

DLEN – 数据长度：DLEN 字段决定外部 MCU 将发送至 MCT8316A-Q1 的数据的长度。MCT8316A-Q1 协议支持三种数据长度：16 位、32 位和 64 位。

表 6-6. 数据长度配置

DLEN 值	数据长度
00b	16 位
01b	32 位
10b	64 位
11b	保留

MEM_SEC – 存储器段：MCT8316A-Q1 中的每个存储器位置都使用控制字中的三个独立实体进行寻址 – 存储器段、存储器页、存储器地址。存储器段是一个 4 位字段，表示存储器位置所属的存储器段，例如 RAM、ROM 等。

MEM_PAGE – 存储器页：存储器页是一个 4 位的字段，表示该存储器位置所属的存储器页。

MEM_ADDR – 存储器地址：存储器地址是地址的最后 12 位。完整的 22 位地址由 MCT8316A-Q1 使用全部三个字段（存储器段、存储器页、存储器地址）在内部构建。对于存储器位置 0x000000-0x000800，存储器部段为 0x0，存储器页为 0x0，存储器地址为最低 12 位（0x000 代表 0x000000，0x080 代表 0x000080，0x800 代表 0x000800）

数据字节：对于 MCT8316A-Q1 的写操作，24 位控制字后跟数据字节。控制字中的 DLEN 字段应与该段中发送的字节数相对应。

CRC 字节：如果在控制字中启用了 CRC 功能，则必须在写入事务结束时发送 CRC 字节。下面的 CRC 字节计算中说明了计算 CRC 的过程。

6.6.2.2 I²C 写入操作

通过 I²C 执行的 MCT8316A-Q1 写入操作涉及以下序列。

1. I²C 启动条件。
2. 该序列以用于标识 MCT8316A-Q1 的 I²C 目标起始字节（由 7 位目标 ID (0x00) 组成）和被设置为 0 的 R/W 位开始。
3. 起始字节后跟 24 位控制字。控制字中的位 23 必须为 0，因为它是一个写入操作。
4. 24 位控制字后跟数据字节。数据字节的长度取决于 DLEN 字段。
   a. 在发送数据字节时，首先发送 LSB 字节。有关更多详细信息，请参阅下面的示例。
   b. 16 位/32 位写入 – 发送的数据被写入控制字中所述的地址。
   c. 64 位写入 – 64 位被视为两个 32 位写入。控制字中所述的地址用作地址 0。地址 1 由 MCT8316A-Q1 通过将地址 0 递增 2 在内部进行计算。一共发送 8 个数据字节。前 4 个字节（以 LSB 在前的方式发送）写入地址 0，接下来的 4 个字节写入地址 1。
5. 如果启用了 CRC，则数据包以 CRC 字节结束。CRC 是针对整个数据包进行计算的（目标 ID + W 位、控制字、数据字节）。
6. I²C 停止条件。

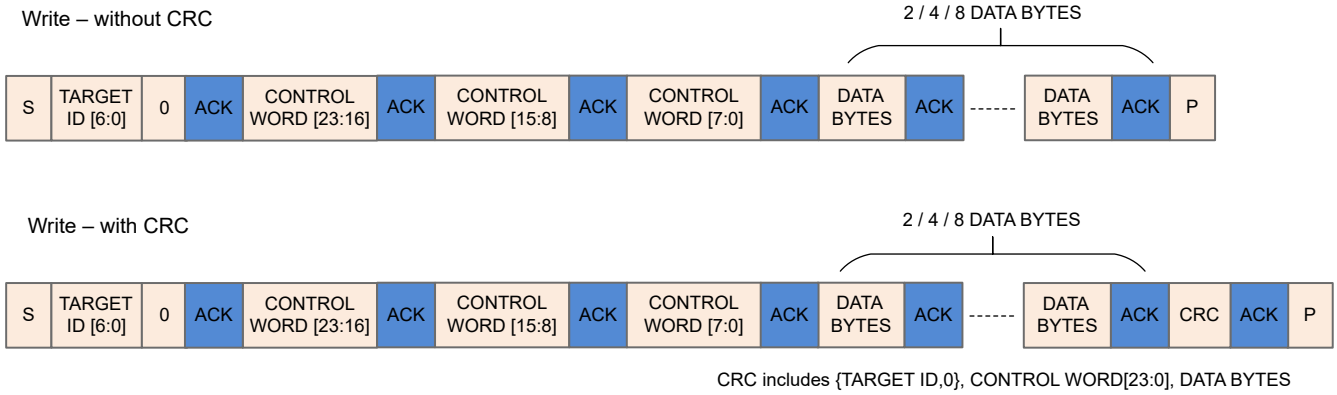


图 6-51. I²C 写入操作序列

6.6.2.3 I²C 读取操作

通过 I²C 执行的 MCT8316A-Q1 读取操作涉及以下序列。

1. I²C 启动条件。
2. 序列从 I²C 目标起始字节开始。
3. 起始字节后跟 24 位控制字。控制字中的位 23 必须为 1，因为它是一个读取操作。
4. 控制字后跟重复启动或正常启动。
5. MCT8316A-Q1 在 SDA 上发送数据字节。MCT8316A-Q1 发送的字节数取决于控制字中的 DLEN 字段。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

a. 在发送数据字节时，首先发送 LSB 字节。有关更多详细信息，请参阅下面的示例。
b. 16 位/32 位读取 – 发回控制字中所述的地址中的数据。
c. 64 位读取 – 64 位被视为两个 32 位读取。控制字中所述的地址用作地址 0。地址 1 由 MCT8316A-Q1 通过将地址 0 递增 2 在内部进行计算。MCT8316A-Q1 一共发送 8 个数据字节。前 4 个字节（以 LSB 在前的方式发送）从地址 0 读取，接下来的 4 个字节从地址 1 读取。
d. MCT8316A-Q1 需要花一些时间来处理控制字并从给定的地址读取数据。这涉及一些延迟。具有目标 ID 的重复启动很可能被否定确认。如果 MCT8316A-Q1 已否定确认 I²C 读取请求，则在几个周期后重试。在该重试期间，不必将整个数据包连同控制字一起发送。仅发送具有目标 ID 和读取位的启动条件就足够了。

6. 如果启用了 CRC，则 MCT8316A-Q1 会在末尾发送一个额外的 CRC 字节。如果启用了 CRC，则外部 MCU I²C 控制器必须在发送停止位之前读取该附加字节。CRC 是针对整个数据包（目标 ID + W 位、控制字、目标 ID + R 位、数据字节）进行计算的。
7. I²C 停止条件。

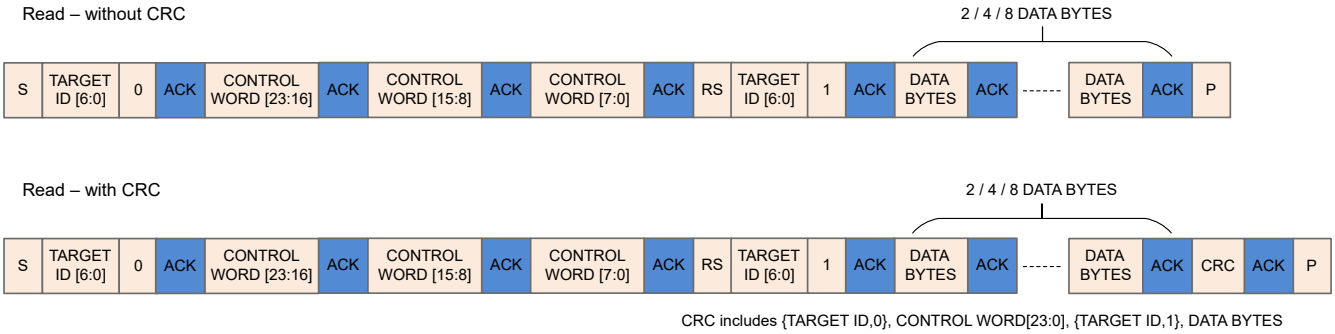


图 6-52. I²C 读取操作序列

6.6.2.4 MCT8316A-Q1 I²C 通信协议数据包示例

该示例部分中使用的所有值均采用十六进制格式。示例中使用的 I²C 目标 ID 是 0x00。

32 位写入操作示例：地址 – 0x00000080，数据 – 0x1234ABCD，CRC 字节 – 0x45（示例值；与实际 CRC 计算不匹配）

表 6-7. 32 位写入操作数据包示例

起始字节		控制字 0				控制字 1		控制字 2	数据字节				CRC
目标 ID	I²C 写入	OP_R/W	CRC_EN	DLEN	MEM_SEC	MEM_PAGE	MEM_ADDR	MEM_ADDR	DB0	DB1	DB2	DB3	CRC 字节
A6-A0	W0	CW23	CW22	CW21-CW20	CW19-CW16	CW15-CW12	CW11-CW8	CW7-CW0	D7-D0	D7-D0	D7-D0	D7-D0	C7-C0
0x00	0x0	0x0	0x1	0x1	0x0	0x0	0x0	0x80	0xCD	0xAB	0x34	0x12	0x45
0x00		0x50				0x00		0x80	0xCD	0xAB	0x34	0x12	0x45

64 位写入操作示例：地址 - 0x00000080，数据地址 0x00000080 - 数据 0x01234567，数据地址 0x00000082 - 数据 0x89ABCDEF，CRC 字节 - 0x45（示例值；与实际 CRC 计算不匹配）

表 6-8. 64 位写入操作数据包示例

起始字节		控制字 0				控制字 1		控制字 2	数据字节	CRC
目标 ID	I²C 写入	OP_R/W	CRC_EN	DLEN	MEM_SEC	MEM_PAGE	MEM_ADDR	MEM_ADDR	DB0 - DB7	CRC 字节
A6-A0	W0	CW23	CW22	CW21-CW20	CW19-CW16	CW15-CW12	CW11-CW8	CW7-CW0	[D7-D0] x 8	C7-C0
0x00	0x0	0x0	0x1	0x2	0x0	0x0	0x0	0x80	0x67452301EFCDAB89	0x45

表 6-8. 64 位写入操作数据包示例（续）

0x00	0x60	0x00	0x80	0x67452301EFCDAB89	0x45

32 位读取操作示例：地址 – 0x00000080，数据 – 0x1234ABCD，CRC 字节 – 0x56（示例值；与实际 CRC 计算不匹配）

表 6-9. 32 位读取操作数据包示例

起始字节		控制字 0				控制字 1		控制字 2	起始字节		字节 0	字节 1	字节 2	字节 3	字节 4
目标 ID	I²C 写入	R/W	CRC_EN	DLEN	MEM_SEC	MEM_PAGE	MEM_ADDR	MEM_ADDR	目标 ID	I²C 读取	DB0	DB1	DB2	DB3	CRC 字节
A6-A0	W0	CW23	CW22	CW21-CW20	CW19-CW16	CW15-CW12	CW11-CW8	CW7-CW0	A6-A0	W0	D7-D0	D7-D0	D7-D0	D7-D0	C7-C0
0x00	0x0	0x1	0x1	0x1	0x0	0x0	0x0	0x80	0x00	0x1	0xCD	0xAB	0x34	0x12	0x56
0x00		0xD0				0x00		0x80	0x01		0xCD	0xAB	0x34	0x12	0x56

6.6.2.5 内部缓冲区

MCT8316A-Q1 在内部使用缓冲区来存储在 I²C 上接收到的数据。收集 I²C 总线上的数据具有最高的优先级。有 2 个缓冲区（乒乓）用于 I²C Rx 数据，有 2 个缓冲区（乒乓）用于 I² Tx 数据。

来自外部 MCU 的写入请求存储在 Rx 缓冲区 1 中，然后触发解析块以处理 Rx 缓冲区 1 中的该数据。当 MCT8316A-Q1 正在处理 Rx 缓冲区 1 中的写入数据包时，如果有另一个新的读取/写入请求，则来自 I²C 总线的全部数据都存储在 Rx 缓冲区 2 中，在当前请求之后进行处理。

MCT8316A-Q1 最多可以容纳两个连续的读取/写入请求。如果 MCT8316A-Q1 由于高优先级中断而处于忙状态，则发送的数据将存储在内部缓冲区（Rx 缓冲区 1 和 Rx 缓冲区 2）中。此时，如果有第三个读取/写入请求，则目标 ID 将被否定确认，因为缓冲区已满。

在读取操作期间，读取请求会得到处理，并且从寄存器读取的数据与 CRC 字节（如果启用）一起存储在 Tx 缓冲区中。现在，如果外部 MCU 启动 I²C 读取（目标 ID + R 位），则该 Tx 缓冲区中的数据将通过 I²C 进行发送。由于有两个 Tx 缓冲区，因此可以缓冲来自 2 次 MCT8316A-Q1 读取的寄存器数据。在给定该情形时，如果存在第三个读取请求，则控制字将存储在 Rx 缓冲区 1 中，但 MCT8316A-Q1 不会对其进行处理，因为 Tx 缓冲区已满。

从 Tx 缓冲区中读取数据后，该数据将不再存储在 Tx 缓冲区中。缓冲区被清除，可以用于下一个要存储的数据。如果读取事务在中间被中断并且 MCU 未读取所有字节，则外部 MCU 可以启动另一个 I²C 读取（仅 I²C 读取，没有任何控制字信息）从第一个数据字节开始读取所有数据字节。

6.6.2.6 CRC 字节计算

8 位 CCIT 多项式（$x^8 + x^2 + x + 1$）用于 CRC 计算。

写操作中的 CRC 计算：当外部 MCU 对 MCT8316A-Q1 进行写入时，如果启用 CRC，则外部 MCU 必须计算一个 8 位 CRC 字节，并在数据末尾添加该 CRC 字节。MCT8316A-Q1 将在内部使用相同的多项式计算 CRC，如果存在不匹配情况，则写入请求被丢弃。下面列出了用于写操作的外部 MCU CRC 计算的输入数据：

1. 目标 ID + 写入位。
2. 控制字 – 3 字节
3. 数据字节 – 2/4/8 字节

读操作中的 CRC 计算：当外部 MCU 从 MCT8316A-Q1 进行读取时，如果启用了 CRC，则 MCT8316A-Q1 会在数据的末尾发送 CRC 字节。读取操作中的 CRC 计算涉及起始字节、外部 MCU 发送的控制字以及 MCT8316A-Q1 发送的数据字节。下面列出了外部 MCU 进行 CRC 计算以验证 MCT8316A-Q1 发送的数据的输入数据：

1. 目标 ID + 写入位
2. 控制字 – 3 字节

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

3. 目标 ID + 读取位
4. 数据字节 – 2/4/8 字节

6.7 EEPROM（非易失性）寄存器映射

6.7.1 Algorithm_Configuration 寄存器

表 6-10 列出了 Algorithm_Configuration 寄存器的存储器映射寄存器。表 6-10 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-10. ALGORITHM_CONFIGURATION 寄存器

偏移	首字母缩写词	寄存器名称	部分
80h	ISD_CONFIG	ISD 配置	节 6.7.1.1
82h	MOTOR_STARTUP1	电机启动配置 1	节 6.7.1.2
84h	MOTOR_STARTUP2	电机启动配置 2	节 6.7.1.3
86h	CLOSED_LOOP1	闭环配置 1	节 6.7.1.4
88h	CLOSED_LOOP2	闭环配置 2	节 6.7.1.5
8Ah	CLOSED_LOOP3	闭环配置 3	节 6.7.1.6
8Ch	CLOSED_LOOP4	闭环配置 4	节 6.7.1.7
8Eh	CONST_SPEED	恒定转速配置	节 6.7.1.8
90h	CONST_PWR	恒定功率配置	节 6.7.1.9
96h	150_DEG_TWO_PH_PROFILE	150° 两相曲线	节 6.7.1.10
98h	150_DEG_THREE_PH_PROFILE	150° 三相曲线	节 6.7.1.11
9Ah	TRAP_CONFIG1	陷波配置 1	节 6.7.1.12
9Ch	TRAP_CONFIG2	陷波配置 2	节 6.7.1.13

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。表 6-11 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-11. Algorithm_Configuration 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
写入类型		
W	W	写入
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.7.1.1 ISD_CONFIG 寄存器（偏移 = 80h）[复位 = 00000000h]

图 6-53 展示了 ISD_CONFIG，表 6-12 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置初始速度检测设置的寄存器

图 6-53. ISD_CONFIG 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	ISD_EN	BRAKE_EN	HIZ_EN	RVS_DR_EN	RESYNC_EN	STAT_BRK_EN	STAT_DETECT_THR
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
STAT_DETECT_THR		BRK_MODE	RESERVED	RESERVED			BRK_TIME
R/W-0h		R/W-0h	R-0h	R-0h			R/W-0h
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
BRK_TIME			HIZ_TIME				STARTUP_BRK_TIME
R/W-0h			R/W-0h				R/W-0h
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
STARTUP_BRK_TIME		RESYNC_MIN_THRESHOLD			RESERVED		
R/W-0h		R/W-0h			R-0h		

表 6-12. ISD_CONFIG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30	ISD_EN	R/W	0h	启用 ISD 0h = 禁用 1h = 启用
29	BRAKE_EN	R/W	0h	启用制动 0h = 禁用 1h = 启用
28	HIZ_EN	R/W	0h	启用高阻态 0h = 禁用 1h = 启用
27	RVS_DR_EN	R/W	0h	启用反向驱动 0h = 禁用 1h = 启用
26	RESYNC_EN	R/W	0h	启用重新同步 0h = 禁用 1h = 启用
25	STAT_BRK_EN	R/W	0h	在静止期间启用或禁用制动 0h =禁用 1h = 启用
24-22	STAT_DETECT_THR	R/W	0h	静止 BEMF 检测阈值 0h = 5mV 1h = 10mV 2h = 15mV 3h = 20mV 4h = 25mV 5h = 30mV 6h = 50mV 7h = 100mV

表 6-12. ISD_CONFIG 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
21	BRK_MODE	R/W	0h	制动模式 0h = 全部三个低侧 FET 导通 1h = 全部三个高侧 FET 导通
20	RESERVED	R	0h	保留
19-17	RESERVED	R	0h	保留
16-13	BRK_TIME	R/W	0h	制动时间 0h = 10ms 1h = 50ms 2h = 100ms 3h = 200ms 4h = 300ms 5h = 400ms 6h = 500ms 7h = 750ms 8h = 1s 9h = 2s Ah = 3s Bh = 4s Ch = 5s Dh = 7.5s Eh = 10s Fh = 15s
12-9	HIZ_TIME	R/W	0h	高阻态时间 0h = 10ms 1h = 50ms 2h = 100ms 3h = 200ms 4h = 300ms 5h = 400ms 6h = 500ms 7h = 750ms 8h = 1s 9h = 2s Ah = 3s Bh = 4s Ch = 5s Dh = 7.5s Eh = 10s Fh = 15s
8-6	STARTUP_BRK_TIME	R/W	0h	电机静止时的制动时间 0h = 1ms 1h = 10ms 2h = 25ms 3h = 50ms 4h = 100ms 5h = 250ms 6h = 500ms 7h = 1000ms
5-3	RESYNC_MIN_THRESHOLD	R/W	0h	电机滑行而非重新同步的最小相 BEMF 阈值 0h = 基于 MIN_DUTY 计算 1h = 300mV 2h = 400mV 3h = 500mV 4h = 600mV 5h = 800mV 6h = 1000mV 7h = 1250mV
2-0	RESERVED	R	0h	保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.7.1.2 MOTOR_STARTUP1 寄存器（偏移 = 82h）[复位 = 00000000h]

图 6-54 展示了 MOTOR_STARTUP1，表 6-13 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置电机启动设置 1 的寄存器

图 6-54. MOTOR_STARTUP1 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	MTR_STARTUP		ALIGN_RAMP_RATE				ALIGN_TIME
R/W-0h	R/W-0h		R/W-0h				R/W-0h
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
ALIGN_TIME			ALIGN_CURR_THR				IPD_CLK_FREQ
R/W-0h			R/W-0h				R/W-0h
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
IPD_CLK_FREQ		IPD_CURR_THR				IPD_RLS_MODE	
R/W-0h		R/W-0h				R/W-0h	
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
IPD_ADV_ANGLE		IPD_REPEAT		SLOW_FIRST_CYC_FREQ			
R/W-0h		R/W-0h		R/W-0h			

表 6-13. MOTOR_STARTUP1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-29	MTR_STARTUP	R/W	0h	电机启动方法 0h = 对齐 1h = 双对齐 2h = IPD 3h = 慢速首循环
28-25	ALIGN_RAMP_RATE	R/W	0h	对齐电压斜坡速率 0h = 0.1V/s 1h = 0.2V/s 2h = 0.5V/s 3h = 1V/s 4h = 2.5V/s 5h = 5V/s 6h = 7.5V/s 7h = 10V/s 8h = 25V/s 9h = 50V/s Ah = 75V/s Bh = 100V/s Ch = 250V/s Dh = 500V/s Eh = 750V/s Fh = 1000V/s

表 6-13. MOTOR_STARTUP1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
24-21	ALIGN_TIME	R/W	0h	对齐时间 0h = 5ms 1h = 10ms 2h = 25ms 3h = 50ms 4h = 75ms 5h = 100ms 6h = 200ms 7h = 400ms 8h = 600ms 9h = 800ms Ah = 1s Bh = 2s Ch = 4s Dh = 6s Eh = 8s Fh = 10s
20-17	ALIGN_CURR_THR	R/W	0h	对齐电流阈值（对齐电流阈值 (A) = ALIGN_CURR_THR/CSA_GAIN） 0h = 不适用 1h = 0.1V 2h = 0.2V 3h = 0.3V 4h = 0.4V 5h = 0.5V 6h = 0.6V 7h = 0.7V 8h = 0.8V 9h = 0.9V Ah = 1V Bh = 1.1V Ch = 1.2V Dh = 1.3V Eh = 1.4V Fh = 1.5V
16-14	IPD_CLK_FREQ	R/W	0h	IPD 时钟频率 0h = 50Hz 1h = 100Hz 2h = 250Hz 3h = 500Hz 4h = 1000Hz 5h = 2000Hz 6h = 5000Hz 7h = 10000Hz
13-10	IPD_CURR_THR	R/W	0h	IPD 电流阈值（IPD 电流阈值 (A) = IPD_CURR_THR/CSA_GAIN） 0h = 不适用 1h = 不适用 2h = 0.2V 3h = 0.3V 4h = 0.4V 5h = 0.5V 6h = 0.6V 7h = 0.7V 8h = 0.8V 9h = 0.9V Ah = 1V Bh = 1.1V Ch = 1.2V Dh = 1.3V Eh = 1.4V Fh = 1.5V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-13. MOTOR_STARTUP1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
9-8	IPD_RLS_MODE	R/W	0h	IPD 释放模式 0h = 制动 1h = 三态 2h = 不适用 3h = 不适用
7-6	IPD_ADV_ANGLE	R/W	0h	IPD 超前角度 0h = 0° 1h = 30° 2h = 60° 3h = 90°
5-4	IPD_REPEAT	R/W	0h	执行 IPD 的次数 0h = 一次 1h = 平均 2 次 2h = 平均 3 次 3h = 平均 4 次
3-0	SLOW_FIRST_CYC_FREQ	R/W	0h	首循环频率 0h = 0.05Hz 1h = 0.1Hz 2h = 0.25Hz 3h = 0.5Hz 4h = 1Hz 5h = 2Hz 6h = 3Hz 7h = 5Hz 8h = 10Hz 9h = 15Hz Ah = 25Hz Bh = 50Hz Ch = 75Hz Dh = 100Hz Eh = 150Hz Fh = 200Hz

6.7.1.3 MOTOR_STARTUP2 寄存器（偏移 = 84h）[复位 = 0000000Xh]

图 6-55 展示了 MOTOR_STARTUP2，表 6-14 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置电机启动设置 2 的寄存器

图 6-55. MOTOR_STARTUP2 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	OL_ILIMIT_CONFIG	OL_DUTY			OL_ILIMIT		
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h			R/W-0h		
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
OL_ILIMIT	OL_ACC_A1					OL_ACC_A2	
R/W-0h	R/W-0h					R/W-0h	
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
OL_ACC_A2			OPN_CL_HANDOFF_THR				
R/W-0h			R/W-0h				
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
AUTO_HANDOFF	FIRST_CYCLE_FREQ_SEL	MIN_DUTY				RESERVED	
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h				R-0h	

表 6-14. MOTOR_STARTUP2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30	OL_ILIMIT_CONFIG	R/W	0h	开环电流限制配置 0h = 由 OL_ILIMIT 定义的开环电流限制 1h = 由 ILIMIT 定义的开环电流限制
29-27	OL_DUTY	R/W	0h	开环期间的占空比限制 0h = 10% 1h = 15% 2h = 20% 3h = 25% 4h = 30% 5h = 40% 6h = 50% 7h = 100%
26-23	OL_ILIMIT	R/W	0h	开环电流限制（OL 电流阈值 (A) = OL_CURR_THR/CSA_GAIN） 0h = 不适用 1h = 0.1V 2h = 0.2V 3h = 0.3V 4h = 0.4V 5h = 0.5V 6h = 0.6V 7h = 0.7V 8h = 0.8V 9h = 0.9V Ah = 1V Bh = 1.1V Ch = 1.2V Dh = 1.3V Eh = 1.4V Fh = 1.5V

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-14. MOTOR_STARTUP2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
22-18	OL_ACC_A1	R/W	0h	开环加速 A1 0h = 0.005Hz/s 1h = 0.01Hz/s 2h = 0.025Hz/s 3h = 0.05Hz/s 4h = 0.1Hz/s 5h = 0.25Hz/s 6h = 0.5Hz/s 7h = 1Hz/s 8h = 2.5Hz/s 9h = 5Hz/s Ah = 7.5Hz/s Bh = 10Hz/s Ch = 12.5Hz/s Dh = 15Hz/s Eh = 20Hz/s Fh = 30Hz/s 10h = 40Hz/s 11h = 50Hz/s 12h = 60Hz/s 13h = 75Hz/s 14h = 100Hz/s 15h = 125Hz/s 16h = 150Hz/s 17h = 175Hz/s 18h = 200Hz/s 19h = 250Hz/s 1Ah = 300Hz/s 1Bh = 400Hz/s 1Ch = 500Hz/s 1Dh = 750Hz/s 1Eh = 1000Hz/s 1Fh = 无限制 (32767) Hz/s

表 6-14. MOTOR_STARTUP2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
17-13	OL_ACC_A2	R/W	0h	开环加速 A2 0h = 0.005Hz/s2 1h = 0.01Hz/s2 2h = 0.025Hz/s2 3h = 0.05Hz/s2 4h = 0.1Hz/s2 5h = 0.25Hz/s2 6h = 0.5Hz/s2 7h = 1Hz/s2 8h = 2.5Hz/s2 9h = 5Hz/s2 Ah = 7.5Hz/s2 Bh = 10Hz/s2 Ch = 12.5Hz/s2 Dh = 15Hz/s2 Eh = 20Hz/s2 Fh = 30Hz/s2 10h = 40Hz/s2 11h = 50Hz/s2 12h = 60Hz/s2 13h = 75Hz/s2 14h = 100Hz/s2 15h = 125Hz/s2 16h = 150Hz/s2 17h = 175Hz/s2 18h = 200Hz/s2 19h = 250Hz/s2 1Ah = 300Hz/s2 1Bh = 400Hz/s2 1Ch = 500Hz/s2 1Dh = 750Hz/s2 1Eh = 1000Hz/s2 1Fh = 无限制 (32767) Hz/s2

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-14. MOTOR_STARTUP2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
12-8	OPN_CL_HANDOFF_THR	R/W	0h	开环至闭环切换阈值 0h = 1Hz 1h = 4Hz 2h = 8Hz 3h = 12Hz 4h = 16Hz 5h = 20Hz 6h = 24Hz 7h = 28Hz 8h = 32Hz 9h = 36Hz Ah = 40Hz Bh = 45Hz Ch = 50Hz Dh = 55Hz Eh = 60Hz Fh = 65Hz 10h = 70Hz 11h = 75Hz 12h = 80Hz 13h = 85Hz 14h = 90Hz 15h = 100Hz 16h = 150Hz 17h = 200Hz 18h = 250Hz 19h = 300Hz 1Ah = 350Hz 1Bh = 400Hz 1Ch = 450Hz 1Dh = 500Hz 1Eh = 550Hz 1Fh = 600Hz
7	AUTO_HANDOFF	R/W	0h	启用自动切换 0h = 禁用自动切换（使用 OPN_CL_HANDOFF_THR） 1h = 启用自动切换
6	FIRST_CYCLE_FREQ_SEL	R/W	0h	首循环频率选择 0h = 由 SLOW_FIRST_CYC_FREQ 定义 1h = 0Hz
5-2	MIN_DUTY	R/W	0h	最小工作占空比 0h = 1.5 % 1h = 2 % 2h = 3 % 3h = 4 % 4h = 5 % 5h = 6 % 6h = 7 % 7h = 8 % 8h = 9 % 9h = 10 % Ah = 12 % Bh = 15 % Ch = 17.5 % Dh = 20 % Eh = 25 % Fh = 30 %
1-0	RESERVED	R	0h	保留

6.7.1.4 CLOSED_LOOP1 寄存器（偏移 = 86h）[复位 = 00000000h]

图 6-56 展示了 CLOSED_LOOP1，表 6-15 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置闭环设置 1 的寄存器

图 6-56. CLOSED_LOOP1 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	COMM_CONTROL		CL_ACC				
R/W-0h	R/W-0h		R/W-0h				
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
CL_DEC_CONFIG	CL_DEC					PWM_FREQ_OUT	
R/W-0h	R/W-0h					R/W-0h	
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
PWM_FREQ_OUT			PWM_MODUL		PWM_MODE	LD_ANGLE_POLARITY	LD_ANGLE
R/W-0h			R/W-0h		R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
LD_ANGLE							RESERVED
R/W-0h							R-0h

表 6-15. CLOSED_LOOP1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-29	COMM_CONTROL	R/W	0h	梯形换向模式 0h = 120° 换向 1h = 120° 和 150° 2h = 不适用 3h = 不适用

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-15. CLOSED_LOOP1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
28-24	CL_ACC	R/W	0h	闭环加速率 0h = 0.005V/s 1h = 0.01V/s 2h = 0.025V/s 3h = 0.05V/s 4h = 0.1V/s 5h = 0.25V/s 6h = 0.5V/s 7h = 1V/s 8h = 2.5V/s 9h = 5V/s Ah = 7.5V/s Bh = 10V/s Ch = 12.5V/s Dh = 15V/s Eh = 20V/s Fh = 30V/s 10h = 40V/s 11h = 50V/s 12h = 60V/s 13h = 75V/s 14h = 100V/s 15h = 125V/s 16h = 150V/s 17h = 175V/s 18h = 200V/s 19h = 250V/s 1Ah = 300V/s 1Bh = 400V/s 1Ch = 500V/s 1Dh = 750V/s 1Eh = 1000V/s 1Fh = 32767V/s
23	CL_DEC_CONFIG	R/W	0h	闭环减速配置 0h = 由 CL_DEC 定义的闭环减速 1h = 由 CL_ACC 定义的闭环减速

表 6-15. CLOSED_LOOP1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
22-18	CL_DEC	R/W	0h	闭环减速率 0h = 0.005V/s 1h = 0.01V/s 2h = 0.025V/s 3h = 0.05V/s 4h = 0.1V/s 5h = 0.25V/s 6h = 0.5V/s 7h = 1V/s 8h = 2.5V/s 9h = 5V/s Ah = 7.5V/s Bh = 10V/s Ch = 12.5V/s Dh = 15V/s Eh = 20V/s Fh = 30V/s 10h = 40V/s 11h = 50V/s 12h = 60V/s 13h = 75V/s 14h = 100V/s 15h = 125V/s 16h = 150V/s 17h = 175V/s 18h = 200V/s 19h = 250V/s 1Ah = 300V/s 1Bh = 400V/s 1Ch = 500V/s 1Dh = 750V/s 1Eh = 1000V/s 1Fh = 32767V/s

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-15. CLOSED_LOOP1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
17-13	PWM_FREQ_OUT	R/W	0h	输出 PWM 开关频率 0h = 5kHz 1h = 6kHz 2h = 7kHz 3h = 8kHz 4h = 9kHz 5h = 10kHz 6h = 11kHz 7h = 12kHz 8h = 13kHz 9h = 14kHz Ah = 15kHz Bh = 16kHz Ch = 17kHz Dh = 18kHz Eh = 19kHz Fh = 20kHz 10h = 25kHz 11h = 30kHz 12h = 35kHz 13h = 40kHz 14h = 45kHz 15h = 50kHz 16h = 55kHz 17h = 60kHz 18h = 65kHz 19h = 70kHz 1Ah = 75kHz 1Bh = 80kHz 1Ch = 85kHz 1Dh = 90kHz 1Eh = 95kHz 1Fh = 100kHz
12-11	PWM_MODUL	R/W	0h	PWM 调制。 0h = 高侧调制 1h = 低侧调制 2h = 混合调制 3h = 不适用
10	PWM_MODE	R/W	0h	PWM 模式 0h = 单端模式 1h = 互补模式
9	LD_ANGLE_POLARITY	R/W	0h	施加的超前角的极性 0h = 负 1h = 正
8-1	LD_ANGLE	R/W	0h	超前角 {超前角（度）= LD_ANGLE * 0.12}
0	RESERVED	R	0h	保留

6.7.1.5 CLOSED_LOOP2 寄存器（偏移 = 88h）[复位 = 00000000h]

图 6-57 展示了 CLOSED_LOOP2，表 6-16 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置闭环设置 2 的寄存器

图 6-57. CLOSED_LOOP2 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	FG_SEL		FG_DIV_FACTOR				FG_CONFIG
R/W-0h	R/W-0h		R/W-0h				R/W-0h
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
FG_BEMF_THR			MTR_STOP			MTR_STOP_BRK_TIME	
R/W-0h			R/W-0h			R/W-0h	
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
MTR_STOP_BRK_TIME		ACT_SPIN_BRK_THR			BRAKE_DUTY_THRESHOLD		
R/W-0h		R/W-0h			R/W-0h		
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
AVS_EN	CBC_ILIMIT				RESERVED		
R/W-0h	R/W-0h				R-0h		

表 6-16. CLOSED_LOOP2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-29	FG_SEL	R/W	0h	FG 模式选择 0h = 在开环和闭环中输出 FG 1h = 仅在闭环中输出 FG 2h = 首次尝试时在开环中输出 FG 3h = 不适用
28-25	FG_DIV_FACTOR	R/W	0h	FG 分频因子 0h = 3 分频（2 极电机机械转速/3） 1h = 1 分频（2 极电机机械转速） 2h = 2 分频（4 极电机机械转速） 3h = 3 分频（6 极电机机械转速） 4h = 4 分频（8 极电机机械转速） 5h = 5 分频（10 极电机机械转速） 6h = 6 分频（12 极电机机械转速） 7h = 7 分频（14 极电机机械转速） 8h = 8 分频（16 极电机机械转速） 9h = 9 分频（18 极电机机械转速） Ah = 10 分频（20 极电机机械转速） Bh = 11 分频（22 极电机机械转速） Ch = 12 分频（24 极电机机械转速） Dh = 13 分频（26 极电机机械转速） Eh = 14 分频（28 极电机机械转速） Fh = 15 分频（30 极电机机械转速）
24	FG_CONFIG	R/W	0h	FG 输出配置 0h = FG 在速度降至 FG_BEMF_THR 定义的 BEMF 阈值以下之前一直有效 1h = 只要驱动了电机，FG 就有效

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-16. CLOSED_LOOP2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
23-21	FG_BEMF_THR	R/W	0h	FG 输出 BEMF 阈值 0h = +/-1mV 1h = +/-2mV 2h = +/-5mV 3h = +/-10mV 4h = +/-20mV 5h = +/-30mV 6h = 不适用 7h = 不适用
20-18	MTR_STOP	R/W	0h	电机停止方法 0h = 高阻态 1h = 再循环 2h = 低侧制动 3h = 高侧制动 4h = 主动降速 5h = 不适用 6h = 不适用 7h = 不适用
17-14	MTR_STOP_BRK_TIME	R/W	0h	电机停止期间的制动时间 0h = 1ms 1h = 2ms 2h = 5ms 3h = 10ms 4h = 15ms 5h = 25ms 6h = 50ms 7h = 75ms 8h = 100ms 9h = 250ms Ah = 500ms Bh = 1000ms Ch = 2500ms Dh = 5000ms Eh = 10000ms Fh = 15000ms
13-11	ACT_SPIN_BRK_THR	R/W	0h	使用主动减速、低侧和高侧制动时的电机停止占空比阈值 0h = 立即 1h = 50% 2h = 25% 3h = 15% 4h = 10% 5h = 7.5% 6h = 5% 7h = 2.5%
10-8	BRAKE_DUTY_THRESHOLD	R/W	0h	基于 BRAKE 引脚的低侧制动的占空比阈值 0h = 立即 1h = 50% 2h = 25% 3h = 15% 4h = 10% 5h = 7.5% 6h = 5% 7h = 2.5%
7	AVS_EN	R/W	0h	启用 AVS 0h = 禁用 1h = 启用

表 6-16. CLOSED_LOOP2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
6-3	CBC_ILIMIT	R/W	0h	逐周期 (CBC) 电流限制（CBC 电流限制 (A) = CBC_ILIMIT/CSA_GAIN） 0h = 不适用 1h = 0.1V 2h = 0.2V 3h = 0.3V 4h = 0.4V 5h = 0.5V 6h = 0.6V 7h = 0.7V 8h = 0.8V 9h = 0.9V Ah = 1V Bh = 1.1V Ch = 1.2V Dh = 1.3V Eh = 1.4V Fh = 1.5V
2-0	RESERVED	R	0h	保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.7.1.6 CLOSED_LOOP3 寄存器（偏移 = 8Ah）[复位 = 14000000h]

图 6-58 展示了 CLOSED_LOOP3，表 6-17 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置闭环设置的寄存器 3

图 6-58. CLOSED_LOOP3 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	DYN_DGS_FILT_COUNT		DYN_DGS_UPPER_LIM		DYN_DGS_LOWER_LIM		INTEG_CYCL_THR_LOW
R/W-0h	R/W-0h		R/W-2h		R/W-2h		R/W-0h
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
INTEG_CYCL_THR_LOW	INTEG_CYCL_THR_HIGH		INTEG_DUTY_THR_LOW		INTEG_DUTY_THR_HIGH		BEMF_THRESHOLD2
R/W-0h	R/W-0h		R/W-0h		R/W-0h		R/W-0h
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
BEMF_THRESHOLD2					BEMF_THRESHOLD1		
R/W-0h					R/W-0h		
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
BEMF_THRESHOLD1			INTEG_ZC_METHOD	DEGAUSS_MAX_WIN			DYN_DEGAUSS_EN
R/W-0h			R/W-0h	R/W-0h			R/W-0h

表 6-17. CLOSED_LOOP3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-29	DYN_DGS_FILT_COUNT	R/W	0h	动态去磁检查所需的样本数 0h = 2 1h = 3 2h = 4 3h = 5
28-27	DYN_DGS_UPPER_LIM	R/W	2h	动态去磁电压上限 0h = (VM - 0.09) V 1h = (VM - 0.12) V 2h = (VM - 0.15) V 3h = (VM - 0.18) V
26-25	DYN_DGS_LOWER_LIM	R/W	2h	动态去磁电压下限 0h = 0.03V 1h = 0.06V 2h = 0.09V 3h = 0.12V
24-23	INTEG_CYCL_THR_LOW	R/W	0h	每 30° 的 BEMF 样本数，在低于该值时换向方法从积分切换至 ZC 0h = 3 1h = 4 2h = 6 3h = 8
22-21	INTEG_CYCL_THR_HIGH	R/W	0h	每 30° 的 BEMF 样本数，在高于该值时换向方法从 ZC 切换至积分 0h = 4 1h = 6 2h = 8 3h = 10

表 6-17. CLOSED_LOOP3 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
20-19	INTEG_DUTY_THR_LOW	R/W	0h	占空比，在低于该值时换向方法从积分切换至 ZC 0h = 12% 1h = 15% 2h = 18% 3h = 20%
18-17	INTEG_DUTY_THR_HIGH	R/W	0h	占空比，在高于该值时换向方法从 ZC 切换至积分 0h = 12% 1h = 15% 2h = 18% 3h = 20%

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-17. CLOSED_LOOP3 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
16-11	BEMF_THRESHOLD2	R/W	0h	浮动相电压下降期间基于积分的换向的 BEMF 阈值 0h = 0 1h = 25 2h = 50 3h = 75 4h = 100 5h = 125 6h = 150 7h = 175 8h = 200 9h = 225 Ah = 250 Bh = 275 Ch = 300 Dh = 325 Eh = 350 Fh = 375 10h = 400 11h = 425 12h = 450 13h = 475 14h = 500 15h = 525 16h = 550 17h = 575 18h = 600 19h = 625 1Ah = 650 1Bh = 675 1Ch = 700 1Dh = 725 1Eh = 750 1Fh = 775 20h = 800 21h = 850 22h = 900 23h = 950 24h = 1000 25h = 1050 26h = 1100 27h = 1150 28h = 1200 29h = 1250 2Ah = 1300 2Bh = 1350 2Ch = 1400 2Dh = 1450 2Eh = 1500 2Fh = 1550 30h = 1600 31h = 1700 32h = 1800 33h = 1900 34h = 2000 35h = 2100 36h = 2200 37h = 2300 38h = 2400 39h = 2600 3Ah = 2800 3Bh = 3000 3Ch = 3200 3Dh = 3400 3Eh = 3600 3Fh = 3800

表 6-17. CLOSED_LOOP3 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
10-5	BEMF_THRESHOLD1	R/W	0h	浮动相电压上升期间基于积分的换向的 BEMF 阈值 0h = 0 1h = 25 2h = 50 3h = 75 4h = 100 5h = 125 6h = 150 7h = 175 8h = 200 9h = 225 Ah = 250 Bh = 275 Ch = 300 Dh = 325 Eh = 350 Fh = 375 10h = 400 11h = 425 12h = 450 13h = 475 14h = 500 15h = 525 16h = 550 17h = 575 18h = 600 19h = 625 1Ah = 650 1Bh = 675 1Ch = 700 1Dh = 725 1Eh = 750 1Fh = 775 20h = 800 21h = 850 22h = 900 23h = 950 24h = 1000 25h = 1050 26h = 1100 27h = 1150 28h = 1200 29h = 1250 2Ah = 1300 2Bh = 1350 2Ch = 1400 2Dh = 1450 2Eh = 1500 2Fh = 1550 30h = 1600 31h = 1700 32h = 1800 33h = 1900 34h = 2000 35h = 2100 36h = 2200 37h = 2300 38h = 2400 39h = 2600 3Ah = 2800 3Bh = 3000 3Ch = 3200 3Dh = 3400 3Eh = 3600 3Fh = 3800

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-17. CLOSED_LOOP3 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
4	INTEG_ZC_METHOD	R/W	0h	换向方法选择 0h = 基于 ZC 1h = 基于积分
3-1	DEGAUSS_MAX_WIN	R/W	0h	最大去磁窗口 0h = 22.5° 1h = 10° 2h = 15° 3h = 18° 4h = 30° 5h = 37.5° 6h = 45° 7h = 60°
0	DYN_DEGAUSS_EN	R/W	0h	动态去磁检测 0h = 禁用 1h = 启用

6.7.1.7 CLOSED_LOOP4 寄存器（偏移 = 8Ch）[复位 = 00000000h]

图 6-59 展示了 CLOSED_LOOP4，表 6-18 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置闭环设置的寄存器 4

图 6-59. CLOSED_LOOP4 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	RESERVED						
R/W-0h	R-0h						
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
RESERVED				WCOMP_BLANK_EN	FAST_DEC_DUTY_WIN		
R-0h				R/W-0h	R/W-0h		
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
FAST_DEC_DUTY_THR			DYN_BRK_CURR_LOW_LIM				DYNAMIC_BRK_CURR
R/W-0h			R/W-0h				R/W-0h
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
FAST_DECEL_EN	FAST_DECEL_CURR_LIM				FAST_BRK_DELTA		
R/W-0h	R/W-0h				R/W-0h		

表 6-18. CLOSED_LOOP4 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-20	RESERVED	R	0h	保留
19	WCOMP_BLANK_EN	R/W	0h	在快速减速期间启用 WCOMP 消隐 0h = 禁用 1h = 启用
18-16	FAST_DEC_DUTY_WIN	R/W	0h	快速减速占空比窗口 0h = 0% 1h = 2.5% 2h = 5% 3h = 7.5% 4h = 10% 5h = 15% 6h = 20% 7h = 25%
15-13	FAST_DEC_DUTY_THR	R/W	0h	快速减速占空比阈值 0h = 100% 1h = 95% 2h = 90% 3h = 85% 4h = 80% 5h = 75% 6h = 70% 7h = 65%

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-18. CLOSED_LOOP4 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
12-9	DYN_BRK_CURR_LOW_LIM	R/W	0h	快速减速动态电流限制下限阈值（减速电流下限阈值 (A) = DYN_BRK_CURR_LOW_LIM/CSA_GAIN） 0h = 不适用 1h = 0.1V 2h = 0.2V 3h = 0.3V 4h = 0.4V 5h = 0.5V 6h = 0.6V 7h = 0.7V 8h = 0.8V 9h = 0.9V Ah = 1V Bh = 1.1V Ch = 1.2V Dh = 1.3V Eh = 1.4V Fh = 1.5V
8	DYNAMIC_BRK_CURR	R/W	0h	在快速减速期间启用动态减小电流限值 0h = 禁用 1h = 启用
7	FAST_DECEL_EN	R/W	0h	启用快速减速 0h = 禁用 1h = 启用
6-3	FAST_DECEL_CURR_LIM	R/W	0h	减速电流阈值（快速减速电流限制上限阈值 (A) = FAST_DECEL_CURR_LIM/CSA_GAIN） 0h = 不适用 1h = 0.1V 2h = 0.2V 3h = 0.3V 4h = 0.4V 5h = 0.5V 6h = 0.6V 7h = 0.7V 8h = 0.8V 9h = 0.9V Ah = 1V Bh = 1.1V Ch = 1.2V Dh = 1.3V Eh = 1.4V Fh = 1.5V
2-0	FAST_BRK_DELTA	R/W	0h	快速减速退出速度差 0h = 0.5% 1h = 1% 2h = 1.5% 3h = 2% 4h = 2.5% 5h = 3% 6h = 4% 7h = 5%

6.7.1.8 CONST_SPEED 寄存器（偏移 = 8Eh）[复位 = 00000000h]

图 6-60 展示了 CONST_SPEED，表 6-19 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置恒定转速模式设置的寄存器

图 6-60. CONST_SPEED 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	RESERVED	SPD_POWER_KP					
R/W-0h	R-0h	R/W-0h					
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
SPD_POWER_KP				SPD_POWER_KI			
R/W-0h				R/W-0h			
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
SPD_POWER_KI							
R/W-0h							
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
SPD_POWER_V_MAX			SPD_POWER_V_MIN			CLOSED_LOOP_MODE	
R/W-0h			R/W-0h			R/W-0h	

表 6-19. CONST_SPEED 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30	RESERVED	R	0h	保留
29-20	SPD_POWER_KP	R/W	0h	速度/电源环路 Kp (Kp = SPD_LOOP_KP/10000)
19-8	SPD_POWER_KI	R/W	0h	速度/电源环路 Ki (Ki = SPD_LOOP_KI/1000000)
7-5	SPD_POWER_V_MAX	R/W	0h	速度/电源环路的饱和上限 0h = 100% 1h = 95% 2h = 90% 3h = 85% 4h = 80% 5h = 75% 6h = 70% 7h = 65%
4-2	SPD_POWER_V_MIN	R/W	0h	速度/电源环路的饱和下限 0h = 0% 1h = 2.5% 2h = 5% 3h = 7.5% 4h = 10% 5h = 15% 6h = 20% 7h = 25%
1-0	CLOSED_LOOP_MODE	R/W	0h	闭环模式 0h = 禁用 1h = 速度环路 2h = 电源环路 3h = 保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.7.1.9 CONST_PWR 寄存器（偏移 = 90h）[复位 = 00000000h]

图 6-61 展示了 CONST_PWR，表 6-20 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置恒定功率模式设置的寄存器

图 6-61. CONST_PWR 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	MAX_SPEED						
R/W-0h	R/W-0h						
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
MAX_SPEED							
R/W-0h							
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
MAX_SPEED	DEADTIME_COMP_EN	MAX_POWER					
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h					
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
MAX_POWER				CONST_POWER_LIMIT_HYST		CONST_POWER_MODE	
R/W-0h				R/W-0h		R/W-0h	

表 6-20. CONST_PWR 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-15	MAX_SPEED	R/W	0h	最大速度（最大速度 (Hz) = MAX_SPEED/16）
14	DEADTIME_COMP_EN	R/W	0h	启用死区时间补偿 0h = 禁用 1h = 启用
13-4	MAX_POWER	R/W	0h	最大功率（最大功率 (W) = MAX_POWER/4）
3-2	CONST_POWER_LIMIT_HYST	R/W	0h	用于输入功率调节的迟滞 0h = 5% 1h = 7.5% 2h = 10% 3h = 12.5%
1-0	CONST_POWER_MODE	R/W	0h	输入功率调节模式 0h = 禁用 1h = 闭环功率控制 2h = 功率限制控制 3h = 保留

6.7.1.10 150_DEG_TWO_PH_PROFILE 寄存器（偏移 = 96h）[复位 = 00000000h]

图 6-62 展示了 150_DEG_TWO_PH_PROFILE，表 6-21 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置 150 度调制两相占空比的寄存器

图 6-62. 150_DEG_TWO_PH_PROFILE 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	TWOPH_STEP0			TWOPH_STEP1			TWOPH_STEP 2
R/W-0h	R/W-0h			R/W-0h			R/W-0h
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
TWOPH_STEP2		TWOPH_STEP3			TWOPH_STEP4		
R/W-0h		R/W-0h			R/W-0h		
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
TWOPH_STEP5			TWOPH_STEP6			TWOPH_STEP7	
R/W-0h			R/W-0h			R/W-0h	
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
TWOPH_STEP 7	RESERVED						
R/W-0h	R-0h						

表 6-21. 150_DEG_TWO_PH_PROFILE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-28	TWOPH_STEP0	R/W	0h	150° 调制，两相- 阶跃占空比 - 0 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
27-25	TWOPH_STEP1	R/W	0h	150° 调制，两相- 阶跃占空比 - 1 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
24-22	TWOPH_STEP2	R/W	0h	150° 调制，两相- 阶跃占空比 - 2 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-21. 150_DEG_TWO_PH_PROFILE 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
21-19	TWOPH_STEP3	R/W	0h	150° 调制，两相- 阶跃占空比 - 3 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
18-16	TWOPH_STEP4	R/W	0h	150° 调制，两相- 阶跃占空比 - 4 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
15-13	TWOPH_STEP5	R/W	0h	150° 调制，两相- 阶跃占空比 - 5 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
12-10	TWOPH_STEP6	R/W	0h	150° 调制，两相- 阶跃占空比 - 6 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
9-7	TWOPH_STEP7	R/W	0h	150° 调制，两相- 阶跃占空比 - 7 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
6-0	RESERVED	R	0h	保留

6.7.1.11 150_DEG_THREE_PH_PROFILE 寄存器（偏移 = 98h）[复位 = 00000000h]

图 6-63 展示了 150_DEG_THREE_PH_PROFILE，表 6-22 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置 150 度调制三相占空比的寄存器

图 6-63. 150_DEG_THREE_PH_PROFILE 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	THREEPH_STEP0			THREEPH_STEP1			THREEPH_STEP2
R/W-0h	R/W-0h			R/W-0h			R/W-0h
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
THREEPH_STEP2		THREEPH_STEP3			THREEPH_STEP4		
R/W-0h		R/W-0h			R/W-0h		
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
THREEPH_STEP5			THREEPH_STEP6			THREEPH_STEP7	
R/W-0h			R/W-0h			R/W-0h	
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
THREEPH_STEP7	LEAD_ANGLE_150DEG_ADV		RESERVED				
R/W-0h	R/W-0h		R-0h				

表 6-22. 150_DEG_THREE_PH_PROFILE 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-28	THREEPH_STEP0	R/W	0h	150° 调制，三相- 阶跃占空比 - 0 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
27-25	THREEPH_STEP1	R/W	0h	150° 调制，三相- 阶跃占空比 - 1 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
24-22	THREEPH_STEP2	R/W	0h	150° 调制，三相- 阶跃占空比 - 2 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-22. 150_DEG_THREE_PH_PROFILE 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
21-19	THREEPH_STEP3	R/W	0h	150° 调制，三相- 阶跃占空比 - 3 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
18-16	THREEPH_STEP4	R/W	0h	150° 调制，三相- 阶跃占空比 - 4 0h = 0.0% 1h = 0.5% 2h = 0.75% 3h = 0.8375% 4h = 0.875% 5h = 0.9375% 6h = 0.975% 7h = 0.99%
15-13	THREEPH_STEP5	R/W	0h	150° 调制，三相- 阶跃占空比 - 5 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
12-10	THREEPH_STEP6	R/W	0h	150° 调制，三相- 阶跃占空比 - 6 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
9-7	THREEPH_STEP7	R/W	0h	150° 调制，三相- 阶跃占空比 - 7 0h = 0% 1h = 50% 2h = 75% 3h = 83.75% 4h = 87.5% 5h = 93.75% 6h = 97.5% 7h = 99%
6-5	LEAD_ANGLE_150DEG_ADV	R/W	0h	150° 调制的角度超前 0h = 0° 1h = 5° 2h = 10° 3h = 15°
4-0	RESERVED	R	0h	保留

6.7.1.12 TRAP_CONFIG1 寄存器（偏移 = 9Ah）[复位 = 00000000h]

图 6-64 展示了 TRAP_CONFIG1，表 6-23 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置内部算法变量的寄存器

图 6-64. TRAP_CONFIG1 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	RESERVED		RESERVED			RESERVED	
R/W-0h	R-0h		R-0h			R-0h	

23	22	21	20	19	18	17	16
OL_HANDOFF_CYCLES		RESERVED			AVS_NEG_CURR_LIMIT		
R/W-0h		R-0h			R/W-0h		

15	14	13	12	11	10	9	8
AVS_LIMIT_HYST	ISD_BEMF_THR					ISD_CYCLE_THR	
R/W-0h	R/W-0h					R/W-0h	

7	6	5	4	3	2	1	0
ISD_CYCLE_THR	RESERVED	RESERVED		ZC_ANGLE_OL_THR		FAST_STARTUP_DIV_FACTOR	
R/W-0h	R-0h	R-0h		R/W-0h		R/W-0h	

表 6-23. TRAP_CONFIG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-29	RESERVED	R	0h	保留
28-26	RESERVED	R	0h	保留
25-24	RESERVED	R	0h	保留
23-22	OL_HANDOFF_CYCLES	R/W	0h	开环切换周期数 0h = 3 1h = 6 2h = 12 3h = 24
21-19	RESERVED	R	0h	保留
18-16	AVS_NEG_CURR_LIMIT	R/W	0h	AVS 负电流限制（AVS 负电流限制 (A) = (AVS_NEG_CURRENT_LIMIT * 3/4095)/CSA_GAIN） 0h = 0 1h = -40 2h = -30 3h = -20 4h = -10 5h = 10 6h = 20 7h = 30
15	AVS_LIMIT_HYST	R/W	0h	AVS 电流迟滞（AVS 正电流限制 (A) = ((AVS_LIMIT_HYST + AVS_NEG_CURR_LIMIT) * 3 /4095)/CSA_GAIN） 0h = 20 1h = 10

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-23. TRAP_CONFIG1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
14-10	ISD_BEMF_THR	R/W	0h	ISD BEMF 阈值（ISD BEMF 阈值 = 200 * ISD_BEMF_THR） 0h = 0 1h = 200 2h = 400 3h = 600 4h = 800 5h = 1000 6h = 1200 7h = 1400 8h = 1600 9h = 1800 Ah = 2000 Bh = 2200 Ch = 2400 Dh = 2600 Eh = 2800 Fh = 3000 10h = 3200 11h = 3400 12h = 3600 13h = 3800 14h = 4000 15h = 4200 16h = 4400 17h = 4600 18h = 4800 19h = 5000 1Ah = 5200 1Bh = 5400 1Ch = 5600 1Dh = 5800 1Eh = 6000 1Fh = 6200
9-7	ISD_CYCLE_THR	R/W	0h	ISD 周期阈值 0h = 2， 1h = 5， 2h = 8， 3h = 11， 4h = 14， 5h = 17， 6h = 20， 7h = 23
6	RESERVED	R	0h	保留
5-4	RESERVED	R	0h	保留
3-2	ZC_ANGLE_OL_THR	R/W	0h	在 OL 期间进行 ZC 检测的角度 0h = 5° 1h = 8° 2h = 12° 3h = 15°
1-0	FAST_STARTUP_DIV_FACTOR	R/W	0h	动态 A1、A2 变化率 0h = 1 1h = 2 2h = 4 3h = 8

6.7.1.13 TRAP_CONFIG2 寄存器（偏移 = 9Ch）[复位 = 00200000h]

图 6-65 展示了 TRAP_CONFIG2，表 6-24 中对此进行了介绍。

返回到表 6-10。

用于配置内部算法变量的寄存器

图 6-65. TRAP_CONFIG2 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	TBLANK				TPWDTH		
R/W-0h	R/W-0h				R/W-0h		
23	22	21	20	19	18	17	16
RESERVED	RESERVED	RESERVED	ALIGN_DUTY			RESERVED	
R-0h	R-0h	R-0h	R/W-0h			R-0h	
15	14	13	12	11	10	9	8
RESERVED							
R-0h							
7	6	5	4	3	2	1	0
RESERVED							
R-0h							

表 6-24. TRAP_CONFIG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-27	TBLANK	R/W	0h	PWM 边沿后的消隐时间 0h = 0μs 1h = 1μs 2h = 2μs 3h = 3μs 4h = 4μs 5h = 5μs 6h = 6μs 7h = 7μs 8h = 8μs 9h = 9μs Ah = 10μs Bh = 11μs Ch = 12μs Dh = 13μs Eh = 14μs Fh = 15μs
26-24	TPWDTH	R/W	0h	比较器抗尖峰脉冲时间 0h = 0μs 1h = 1μs 2h = 2μs 3h = 3μs 4h = 4μs 5h = 5μs 6h = 6μs 7h = 7μs
23	RESERVED	R	0h	保留
22	RESERVED	R	0h	保留
21	RESERVED	R	0h	保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-24. TRAP_CONFIG2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
20-18	ALIGN_DUTY	R/W	0h	对齐期间的占空比限制 0h = 10% 1h = 15% 2h = 20% 3h = 25% 4h = 30% 5h = 40% 6h = 50% 7h = 100%
17-0	RESERVED	R	0h	保留

6.7.2 Fault_Configuration 寄存器

表 6-25 列出了 Fault_Configuration 寄存器的存储器映射寄存器。表 6-25 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-25. FAULT_CONFIGURATION 寄存器

偏移	首字母缩写词	寄存器名称	部分
92h	FAULT_CONFIG1	故障配置 1	节 6.7.2.1
94h	FAULT_CONFIG2	故障配置 2	节 6.7.2.2

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。表 6-26 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-26. Fault_Configuration 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
写入类型		
W	W	写入
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

6.7.2.1 FAULT_CONFIG1 寄存器（偏移 = 92h）[复位 = 00000000h]

图 6-66 展示了 FAULT_CONFIG1，表 6-27 中对此进行了介绍。

返回到表 6-25。

用于配置故障设置 1 的寄存器

图 6-66. FAULT_CONFIG1 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	RESERVED	NO_MTR_DEG_TIME			CBC_ILIMIT_MODE		
R/W-0h	R-0h	R/W-0h			R/W-0h		
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
CBC_ILIMIT_MODE	LOCK_ILIMIT				LOCK_ILIMIT_MODE		
R/W-0h	R/W-0h				R/W-0h		
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
LOCK_ILIMIT_MODE	LOCK_ILIMIT_DEG				CBC_RETRY_PWM_CYC		
R/W-0h	R/W-0h				R/W-0h		
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
RESERVED	MTR_LCK_MODE				LCK_RETRY		
R-0h	R/W-0h				R/W-0h		

表 6-27. FAULT_CONFIG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30	RESERVED	R	0h	保留
29-27	NO_MTR_DEG_TIME	R/W	0h	无电机检测抗尖峰脉冲时间 0h = 1ms 1h = 10ms 2h = 25ms 3h = 50ms 4h = 100ms 5h = 250ms 6h = 500ms 7h = 1000ms

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-27. FAULT_CONFIG1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
26-23	CBC_ILIMIT_MODE	R/W	0h	逐周期电流限制 0h = 自动恢复（下一个 PWM 周期）；nFAULT 有效；驱动器处于再循环模式 1h = 自动恢复（下一个 PWM 周期）；nFAULT 无效；驱动器处于再循环模式 2h = 如果 VSOX < ILIMIT，则自动恢复；nFAULT 有效；驱动器处于再循环模式（仅对于高侧调制可用） 3h = 如果 VSOX < ILIMIT，则自动恢复；nFAULT 无效；驱动器处于再循环模式（仅对于高侧调制可用） 4h = CBC_RETRY_PWM_CYC 之后自动恢复；nFAULT 有效；驱动器处于再循环模式 5h = CBC_RETRY_PWM_CYC 之后自动恢复；nFAULT 无效；驱动器处于再循环模式 6h = 仅报告 VSOX > ILIMIT，但不执行任何操作 7h = 禁用逐周期限制 8h = 禁用逐周期限制 9h = 禁用逐周期限制 Ah = 禁用逐周期限制 Bh = 禁用逐周期限制 Ch = 禁用逐周期限制 Dh = 禁用逐周期限制 Eh = 禁用逐周期限制 Fh = 禁用逐周期限制
22-19	LOCK_ILIMIT	R/W	0h	锁定检测电流限制（锁定检测电流限制 (A) = LOCK_ILIMIT/ CSA_GAIN） 0h = 不适用 1h = 0.1V 2h = 0.2V 3h = 0.3V 4h = 0.4V 5h = 0.5V 6h = 0.6V 7h = 0.7V 8h = 0.8V 9h = 0.9V Ah = 1V Bh = 1.1V Ch = 1.2V Dh = 1.3V Eh = 1.4V Fh = 1.5V

表 6-27. FAULT_CONFIG1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
18-15	LOCK_ILIMIT_MODE	R/W	0h	锁定检测电流限值模式 0h = Ilimit 锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效；栅极驱动器被设置为三态 1h = Ilimit 锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效；栅极驱动器处于再循环模式 2h = Ilimit 锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效；栅极驱动器处于高侧制动模式（所有高侧 FET 都导通） 3h = Ilimit 锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效；栅极驱动器处于低侧制动模式（所有低侧 FET 都导通） 4h = tLCK_RETRY 之后自动恢复；栅极驱动器被设置为三态 5h = tLCK_RETRY 之后自动恢复；栅极驱动器处于再循环模式 6h = tLCK_RETRY 之后自动恢复；栅极驱动器处于高侧制动模式（所有高侧 FET 都导通） 7h = tLCK_RETRY 之后自动恢复；栅极驱动器处于低侧制动模式（所有低侧 FET 都导通） 8h = 仅报告 Ilimit 锁定检测，不执行任何操作 9h = 禁用 Ilimit 锁定检测 Ah = 禁用 Ilimit 锁定检测 Bh = 禁用 Ilimit 锁定检测 Ch = 禁用 Ilimit 锁定检测 Dh = 禁用 Ilimit 锁定检测 Eh = 禁用 Ilimit 锁定检测 Fh = 禁用 Ilimit 锁定检测
14-11	LOCK_ILIMIT_DEG	R/W	0h	锁定检测电流限值抗尖峰脉冲时间 0h = 1ms 1h = 2ms 2h = 5ms 3h = 10ms 4h = 25ms 5h = 50ms 6h = 75ms 7h = 100ms 8h = 250ms 9h = 500ms Ah = 1s Bh = 2.5s Ch = 5s Dh = 10s Eh = 25s Fh = 50s
10-8	CBC_RETRY_PWM_CYC	R/W	0h	CBC 电流限值重试的 PWM 周期数 0h = 0 1h = 1 2h = 2 3h = 3 4h = 4 5h = 5 6h = 6 7h = 7
7	RESERVED	R	0h	保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-27. FAULT_CONFIG1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
6-3	MTR_LCK_MODE	R/W	0h	电机锁定模式 0h = 电机锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效；栅极驱动器被设置为三态 1h = 电机锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效；栅极驱动器处于再循环模式 2h = 电机锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效；栅极驱动器处于高侧制动模式（所有高侧 FET 都导通） 3h = 电机锁定检测导致锁存故障；nFAULT 有效；栅极驱动器处于低侧制动模式（所有低侧 FET 都导通） 4h = tLCK_RETRY 之后自动恢复；栅极驱动器被设置为三态 5h = tLCK_RETRY 之后自动恢复；栅极驱动器处于再循环模式 6h = tLCK_RETRY 之后自动恢复；栅极驱动器处于高侧制动模式（所有高侧 FET 都导通） 7h = tLCK_RETRY 之后自动恢复；栅极驱动器处于低侧制动模式（所有低侧 FET 都导通） 8h = 仅报告电机锁定检测，不执行任何操作 9h = 禁用电机锁定检测 Bh = 禁用电机锁定检测 Ch = 禁用电机锁定检测 Dh = 禁用电机锁定检测 Eh = 禁用电机锁定检测 Fh = 禁用电机锁定检测
2-0	LCK_RETRY	R/W	0h	锁定重试时间 0h = 100ms 1h = 500ms 2h = 1000ms 3h = 2000ms 4h = 3000ms 5h = 5000ms 6h = 7500ms 7h = 10000ms

6.7.2.2 FAULT_CONFIG2 寄存器（偏移 = 94h）[复位 = 00000000h]

图 6-67 展示了 FAULT_CONFIG2，表 6-28 中对此进行了介绍。

返回到表 6-25。

用于配置故障设置 2 的寄存器

图 6-67. FAULT_CONFIG2 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	LOCK1_EN	LOCK2_EN	LOCK3_EN	LOCK_ABN_SPEED			
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h			
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
LOSS_SYNC_TIMES			NO_MTR_THR			MAX_VM_MODE	MAX_VM_MOTOR
R/W-0h			R/W-0h			R/W-0h	R/W-0h
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
MAX_VM_MOTOR		MIN_VM_MODE	MIN_VM_MOTOR			AUTO_RETRY_TIMES	
R/W-0h		R/W-0h	R/W-0h			R/W-0h	
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
AUTO_RETRY_TIMES	LOCK_MIN_SPEED			ABN_LOCK_SPD_RATIO		ZERO_DUTY_THR	
R/W-0h	R/W-0h			R/W-0h		R/W-0h	

表 6-28. FAULT_CONFIG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30	LOCK1_EN	R/W	0h	启用锁定 1（异常速度） 0h = 禁用 1h = 启用
29	LOCK2_EN	R/W	0h	启用锁定 2（不同步） 0h = 禁用 1h = 启用
28	LOCK3_EN	R/W	0h	启用锁定 3（无电机） 0h = 禁用 1h = 启用
27-24	LOCK_ABN_SPEED	R/W	0h	异常速度锁定阈值 0h = 250Hz 1h = 500Hz 2h = 750Hz 3h = 1000Hz 4h = 1250Hz 5h = 1500Hz 6h = 1750Hz 7h = 2000Hz 8h = 2250Hz 9h = 2500Hz Ah = 2750Hz Bh = 3000Hz Ch = 3250Hz Dh = 3500Hz Eh = 3750Hz Fh = 4000Hz

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-28. FAULT_CONFIG2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
23-21	LOSS_SYNC_TIMES	R/W	0h	导致不同步锁定故障的不同步次数 0h = 在 2 次不同步之后触发 1h = 在 3 次不同步之后触发 2h = 在 4 次不同步之后触发 3h = 在 5 次不同步之后触发 4h = 在 6 次不同步之后触发 5h = 在 7 次不同步之后触发 6h = 在 8 次不同步之后触发 7h = 在 9 次不同步之后触发
20-18	NO_MTR_THR	R/W	0h	无电机锁定电流阈值（无电机锁定电流阈值 (A) = NO_MTR_THR/ CSA_GAIN） 0h = 0.005V 1h = 0.0075V 2h = 0.010V 3h = 0.0125V 4h = 0.020V 5h = 0.025V 6h = 0.030V 7h = 0.04V
17	MAX_VM_MODE	R/W	0h	0h = 过压锁存 1h = 如果电压处于界定范围之内，则自动清除
16-14	MAX_VM_MOTOR	R/W	0h	电机运行的最大电压 0h = 无限制 1h = 20.0V 2h = 25.0V 3h = 30.0V 4h = 35.0V 5h = 40.0V 6h = 50.0V 7h = 60.0V
13	MIN_VM_MODE	R/W	0h	0h = 欠压锁存 1h = 如果电压处于界定范围之内，则自动清除
12-10	MIN_VM_MOTOR	R/W	0h	电机运行的最小电压 0h = 无限制 1h = 6.0V 2h = 7.0V 3h = 8.0V 4h = 9.0V 5h = 10.0V 6h = 12.0V 7h = 15.0V
9-7	AUTO_RETRY_TIMES	R/W	0h	自动重试尝试次数 0h = 无限制 1h = 2 2h = 3 3h = 5 4h = 7 5h = 10 6h = 15 7h = 20
6-4	LOCK_MIN_SPEED	R/W	0h	触发锁定故障的速度下限 0h = 0.5Hz 1h = 1Hz 2h = 2Hz 3h = 3Hz 4h = 5Hz 5h = 10Hz 6h = 15Hz 7h = 25Hz

表 6-28. FAULT_CONFIG2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
3-2	ABN_LOCK_SPD_RATIO	R/W	0h	触发异常速度锁定故障的两个连续周期之间的电气速度之比上限 0h = 2 1h = 4 2h = 6 3h = 8
1-0	ZERO_DUTY_THR	R/W	0h	目标速度为零时的占空比下限 0h = 1% 1h = 1.5% 2h = 2.0% 3h = 2.5%

6.7.3 Hardware_Configuration 寄存器

表 6-29 列出了 Hardware_Configuration 寄存器的存储器映射寄存器。表 6-29 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-29. HARDWARE_CONFIGURATION 寄存器

偏移	首字母缩写词	寄存器名称	部分
A4h	PIN_CONFIG1	硬件引脚配置	节 6.7.3.1
A6h	PIN_CONFIG2	硬件引脚配置	节 6.7.3.2
A8h	DEVICE_CONFIG	器件配置	节 6.7.3.3

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。表 6-30 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-30. Hardware_Configuration 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
写入类型		
W	W	写入
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

6.7.3.1 PIN_CONFIG1 寄存器（偏移 = A4h）[复位 = 00000000h]

图 6-68 展示了 PIN_CONFIG1，表 6-31 中对此进行了介绍。

返回到表 6-29。

用于配置硬件引脚的寄存器

图 6-68. PIN_CONFIG1 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	DACOUT1_VAR_ADDR						
R/W-0h	R/W-0h						
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
DACOUT1_VAR_ADDR					DACOUT2_VAR_ADDR		
R/W-0h					R/W-0h		
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
DACOUT2_VAR_ADDR							
R/W-0h							
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
DACOUT2_VAR_ADDR	BRAKE_INPUT		DIR_INPUT		SPD_CTRL_MODE		RESERVED
R/W-0h	R/W-0h		R/W-0h		R/W-0h		R-0h

表 6-31. PIN_CONFIG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-19	DACOUT1_VAR_ADDR	R/W	0h	要监测的变量的 12 位地址
18-7	DACOUT2_VAR_ADDR	R/W	0h	要监测的变量的 12 位地址
6-5	BRAKE_INPUT	R/W	0h	制动输入配置 0h = 硬件引脚制动 1h = 覆盖主动制动的硬件引脚 2h = 在禁用制动功能的情况下覆盖硬件引脚 3h = 不适用
4-3	DIR_INPUT	R/W	0h	方向输入配置 0h = 硬件引脚 DIR 1h = 通过顺时针旋转 OUTA-OUTB-OUTC 覆盖硬件引脚 3h = 不适用
2-1	SPD_CTRL_MODE	R/W	0h	速度输入配置 0h = 模拟模式速度输入 1h = PWM 模式速度输入 2h = I2C 速度输入模式 3h = 基于频率的速度输入模式
0	RESERVED	R	0h	保留

6.7.3.2 PIN_CONFIG2 寄存器（偏移 = A6h）[复位 = 00000000h]

图 6-69 展示了 PIN_CONFIG2，表 6-32 中对此进行了介绍。

返回到表 6-29。

用于配置硬件引脚的寄存器

图 6-69. PIN_CONFIG2 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	DAC_SOX_CONFIG		RESERVED	DAC_XTAL_CONFIG	RESERVED		
R/W-0h	R/W-0h		R-0h	R/W-0h	R-0h		
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
RESERVED				SLEEP_TIME		EXT_WD_EN	EXT_WD_INPUT
R-0h				R/W-0h		R/W-0h	R/W-0h
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
EXT_WD_FAULT	EXT_WD_FREQ		RESERVED				
R/W-0h	R/W-0h		R-0h				
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
RESERVED							
R-0h							

表 6-32. PIN_CONFIG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-29	DAC_SOX_CONFIG	R/W	0h	引脚 36 配置 0h = DACOUT2 1h = SOA 2h = SOB 3h = SOC
28	RESERVED	R	0h	保留
27	DAC_XTAL_CONFIG	R/W	0h	引脚 37 和引脚 38 配置 0h = 不适用 1h = 引脚 37 作为 DACOUT1，引脚 38 作为 DACOUT2
26-20	RESERVED	R	0h	保留
19-18	SLEEP_TIME	R/W	0h	睡眠进入时间 0h = 检查低电平持续 50µs 1h = 检查低电平持续 200µs 2h = 检查低电平持续 20ms 3h = 检查低电平持续 200ms
17	EXT_WD_EN	R/W	0h	启用外部看门狗 0h = 禁用 1h = 启用
16	EXT_WD_INPUT	R/W	0h	外部看门狗源 0h = I2C 1h = GPIO
15	EXT_WD_FAULT	R/W	0h	外部看门狗故障模式 0h = 仅报告 1h = 输出处于高阻态状态下的锁存故障

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-32. PIN_CONFIG2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
14-13	EXT_WD_FREQ	R/W	0h	外部看门狗频率 0h = 10Hz 1h = 5Hz 2h = 2Hz 3h = 1Hz
12-0	RESERVED	R	0h	保留

6.7.3.3 DEVICE_CONFIG 寄存器（偏移 = A8h）[复位 = 00000000h]

图 6-70 展示了 DEVICE_CONFIG，表 6-33 中对此进行了介绍。

返回到表 6-29。

用于配置器件的寄存器

图 6-70. DEVICE_CONFIG 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	INPUT_MAX_FREQUENCY						
R/W-0h	R/W-0h						
23	22	21	20	19	18	17	16
INPUT_MAX_FREQUENCY							
R/W-0h							
15	14	13	12	11	10	9	8
STL_ENABLE	SSM_CONFIG	RESERVED		DEV_MODE	SPD_PWM_RANGE_SELECT	CLK_SEL	
R/W-0h	R/W-0h	R-0h		R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	
7	6	5	4	3	2	1	0
RESERVED	EXT_CLK_EN	EXT_CLK_CONFIG			RESERVED		
R-0h	R/W-0h	R/W-0h			R-0h		

表 6-33. DEVICE_CONFIG 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-16	INPUT_MAX_FREQUENCY	R/W	0h	基于频率的速度输入的最大频率（以 Hz 为单位）
15	STL_ENABLE	R/W	0h	启用 STL 0h = 禁用 1h = 启用
14	SSM_CONFIG	R/W	0h	启用 SSM 0h = 启用 1h = 禁用
13-12	RESERVED	R	0h	保留
11	DEV_MODE	R/W	0h	器件模式选择 0h = 待机模式 1h = 睡眠模式
10	SPD_PWM_RANGE_SELECT	R/W	0h	PWM 频率范围选择 0h = 325Hz 至 95kHz 速度 PWM 输入 1h = 10Hz 至 325Hz 速度 PWM 输入
9-8	CLK_SEL	R/W	0h	时钟源 0h = 内部振荡器 1h = 不适用 2h = 不适用 3h = 外部时钟输入
7	RESERVED	R	0h	保留
6	EXT_CLK_EN	R/W	0h	启用外部时钟 0h = 禁用 1h = 启用

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-33. DEVICE_CONFIG 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
5-3	EXT_CLK_CONFIG	R/W	0h	外部时钟频率 0h = 8kHz 1h = 16kHz 2h = 32kHz 3h = 64kHz 4h = 128kHz 5h = 256kHz 6h = 512kHz 7h = 1024kHz
2-0	RESERVED	R	0h	保留

6.7.4 Gate_Driver_Configuration 寄存器

表 6-34 列出了 Gate_Driver_Configuration 寄存器的存储器映射寄存器。表 6-34 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-34. GATE_DRIVER_CONFIGURATION 寄存器

偏移	首字母缩写词	寄存器名称	部分
ACh	GD_CONFIG1	栅极驱动器配置 1	节 6.7.4.1
AEh	GD_CONFIG2	栅极驱动器配置 2	节 6.7.4.2

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。表 6-35 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-35. Gate_Driver_Configuration 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
写入类型		
W	W	写入
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

6.7.4.1 GD_CONFIG1 寄存器（偏移 = ACh）[复位 = 00228000h]

图 6-71 展示了 GD_CONFIG1，表 6-36 中对此进行了介绍。

返回到表 6-34。

用于配置栅极驱动器设置的寄存器 1

图 6-71. GD_CONFIG1 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	RESERVED		RESERVED	SLEW_RATE		RESERVED	
R/W-0h	R-0h		R-0h	R/W-0h		R-0h	
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
RESERVED	RESERVED	RESERVED	RESERVED	OVP_SEL	OVP_EN	RESERVED	OTW_REP
R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R/W-0h	R/W-0h	R-0h	R/W-0h
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
RESERVED	RESERVED	OCP_DEG		OCP_RETRY	OCP_LVL	OCP_MODE	
R-0h	R-0h	R/W-0h		R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
RESERVED	RESERVED	ADCOMP_TH_LS	ADCOMP_TH_HS	EN_ASR	EN_AAR	CSA_GAIN	
R-0h	R-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h	

表 6-36. GD_CONFIG1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30-29	RESERVED	R	0h	保留
28	RESERVED	R	0h	保留
27-26	SLEW_RATE	R/W	0h	压摆率 0h = 25V/µs 1h = 50V/µs 2h = 125V/µs 3h = 200V/µs
25-24	RESERVED	R	0h	保留
23	RESERVED	R	0h	保留
22	RESERVED	R	0h	保留
21	RESERVED	R	0h	保留
20	RESERVED	R	0h	保留
19	OVP_SEL	R/W	0h	过压保护电平 0h = VM 过压电平为 34V 1h = VM 过压电平为 22V
18	OVP_EN	R/W	0h	启用过压保护 0h = 禁用 1h = 启用
17	RESERVED	R	0h	保留
16	OTW_REP	R/W	0h	nFAULT 上的过热警告报告 0h = 禁用 nFAULT 上的过热报告 1h = 启用 nFAULT 上的过热报告
15	RESERVED	R	0h	保留
14	RESERVED	R	0h	保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-36. GD_CONFIG1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
13-12	OCP_DEG	R/W	0h	OCP 抗尖峰脉冲时间 0h = 0.2μs 1h = 0.6μs 2h = 1.1μs 3h = 1.6μs
11	OCP_RETRY	R/W	0h	OCP 重试时间 0h = 5ms 1h = 500ms
10	OCP_LVL	R/W	0h	OCP 电平 0h = 16A（典型值） 1h = 24A（典型值）
9-8	OCP_MODE	R/W	0h	OCP 故障模式 0h = 过流导致锁存故障 1h = 过流导致自动重试故障 2h = 仅报告过流但不采取任何措施 3h = 不报告过流且不采取任何措施
7	RESERVED	R	0h	保留
6	RESERVED	R	0h	保留
5	ADCOMP_TH_LS	R/W	0h	低侧的主动消磁比较器阈值 0h = 100mA 1h = 150mA
4	ADCOMP_TH_HS	R/W	0h	高侧的主动消磁比较器阈值 0h = 100mA 1h = 150mA
3	EN_ASR	R/W	0h	启用有效同步整流 0h = 禁用 1h = 启用
2	EN_AAR	R/W	0h	启用有效异步整流 0h = 禁用 1h = 启用
1-0	CSA_GAIN	R/W	0h	电流检测放大器 (CSA) 增益 0h = 0.15V/A 1h = 0.3V/A 2h = 0.6V/A 3h = 1.2V/A

6.7.4.2 GD_CONFIG2 寄存器（偏移 = AEh）[复位 = 01200000h]

图 6-72 展示了 GD_CONFIG2，表 6-37 中对此进行了介绍。

返回到表 6-34。

用于配置栅极驱动器设置的寄存器 2

图 6-72. GD_CONFIG2 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
奇偶校验	DELAY_COMP_EN	TARGET_DELAY				RESERVED	BUCK_PS_DIS
R/W-0h	R/W-0h	R/W-0h				R-0h	R/W-1h
23	22	21	20	19	18	17	16
BUCK_CL	BUCK_SEL		BUCK_DIS	RESERVED			
R/W-0h	R/W-1h		R/W-0h	R-0h			
15	14	13	12	11	10	9	8
RESERVED							
R-0h							
7	6	5	4	3	2	1	0
RESERVED							
R-0h							

表 6-37. GD_CONFIG2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	奇偶校验	R/W	0h	奇偶校验位
30	DELAY_COMP_EN	R/W	0h	启用驱动器延迟补偿 0h = 禁用 1h = 启用
29-26	TARGET_DELAY	R/W	0h	目标延迟 0h = 基于压摆率自动设置 1h = 0.4µs 2h = 0.6µs 3h = 0.8µs 4h = 1µs 5h = 1.2µs 6h = 1.4µs 7h = 1.6µs 8h = 1.8µs 9h = 2µs Ah = 2.2µs Bh = 2.4µs Ch = 2.6µs Dh = 2.8µs Eh = 3µs Fh = 3.2µs
25	RESERVED	R	0h	保留
24	BUCK_PS_DIS	R/W	1h	降压电源时序禁用 0h = 启用降压电源时序 1h = 禁用降压电源时序
23	BUCK_CL	R/W	0h	降压电流限制 0h = 600mA 1h = 150mA

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-37. GD_CONFIG2 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
22-21	BUCK_SEL	R/W	1h	降压电压选择 0h = 降压电压为 3.3V 1h = 降压电压为 5.0V 2h = 降压电压为 4.0V 3h = 降压电压为 5.7V
20	BUCK_DIS	R/W	0h	禁用降压 0h = 启用降压稳压器 1h = 禁用降压稳压器
19-0	RESERVED	R	0h	保留

6.8 RAM（易失性）寄存器映射

6.8.1 Fault_Status 寄存器

FAULT_STATUS 寄存器 列出了 Fault_Status 寄存器的存储器映射寄存器。 FAULT_STATUS 寄存器 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-38. FAULT_STATUS 寄存器

地址	首字母缩写词	寄存器名称	部分
E0h	GATE_DRIVER_FAULT_STATUS	故障状态寄存器	GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器（地址 = E0h）[复位 = 00000000h]
E2h	CONTROLLER_FAULT_STATUS	故障状态寄存器	CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器（地址 = E2h）[复位 = 00000000h]

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。 Fault_Status 访问类型代码 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-39. Fault_Status 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

6.8.1.1 GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器（地址 = E0h）[复位 = 00000000h]

GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器 展示了 GATE_DRIVER_FAULT_STATUS，GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器字段说明 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

各种故障的状态

图 6-73. GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
DRIVER_FAULT	BK_FLT	RESERVED	OCP	NPOR	OVP	OT	RESERVED
R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h
23	22	21	20	19	18	17	16
OTW	TSD	OCP_HC	OCP_LC	OCP_HB	OCP_LB	OCP_HA	OCP_LA
R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h
15	14	13	12	11	10	9	8
RESERVED	OTP_ERR	BUCK_OCP	BUCK_UV	VCP_UV	RESERVED		
R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h		
7	6	5	4	3	2	1	0
RESERVED							
R-0h							

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-40. GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	DRIVER_FAULT	R	0h	驱动器故障寄存器的逻辑或 0h = 未检测到栅极驱动器故障情况 1h = 检测到栅极驱动器故障情况
30	BK_FLT	R	0h	降压故障 0h = 未检测到降压稳压器故障情况 1h = 检测到降压稳压器故障情况
29	RESERVED	R	0h	保留
28	OCP	R	0h	过流保护状态 0h = 未检测到过流情况 1h = 检测到过流情况
27	NPOR	R	0h	电源上电复位 0h = 在 VM 上检测到上电复位情况 1h = 未在 VM 上检测到上电复位情况
26	OVP	R	0h	电源过压保护状态 0h = 未在 VM 上检测到过压情况 1h = 在 VM 上检测到过压情况
25	OT	R	0h	过热故障状态 0h = 未检测到过热警告/关断 1h = 检测到过热警告/关断
24	RESERVED	R	0h	保留
23	OTW	R	0h	过热警告状态 0h = 未检测到过热警告 1h = 检测到过热警告
22	TSD	R	0h	过热关断状态 0h = 未检测到过热关断 1h = 检测到过热关断
21	OCP_HC	R	0h	OUTC 高侧开关上的过流状态 0h = 未在 OUTC 的高侧开关上检测到过流 1h = 在 OUTC 的高侧开关上检测到过流
20	OCP_LC	R	0h	OUTC 的低侧开关上的过流状态 0h = 未在 OUTC 的低侧开关上检测到过流 1h = 在 OUTC 的低侧开关上检测到过流
19	OCP_HB	R	0h	OUTB 高侧开关上的过流状态 0h = 未在 OUTB 的高侧开关上检测到过流 1h = 在 OUTB 的高侧开关上检测到过流
18	OCP_LB	R	0h	OUTB 的低侧开关上的过流状态 0h = 未在 OUTB 的低侧开关上检测到过流 1h = 在 OUTB 的低侧开关上检测到过流
17	OCP_HA	R	0h	OUTA 高侧开关上的过流状态 0h = 未在 OUTA 的高侧开关上检测到过流 1h = 在 OUTA 的高侧开关上检测到过流
16	OCP_LA	R	0h	OUTA 的低侧开关上的过流状态 0h = 未在 OUTA 的低侧开关上检测到过流 1h = 在 OUTA 的低侧开关上检测到过流
15	RESERVED	R	0h	保留

表 6-40. GATE_DRIVER_FAULT_STATUS 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
14	OTP_ERR	R	0h	一次性可编程 (OTP) 错误 0h = 未检测到 OTP 错误 1h = 检测到 OTP 错误
13	BUCK_OCP	R	0h	降压稳压器过流状态 0h = 未检测到降压稳压器过流 1h = 检测到降压稳压器过流
12	BUCK_UV	R	0h	降压稳压器欠压状态 0h = 未检测到降压稳压器欠压 1h = 检测到降压稳压器欠压
11	VCP_UV	R	0h	电荷泵欠压状态 0h = 未检测到电荷泵欠压 1h = 检测到电荷泵欠压
10-0	RESERVED	R	0h	保留

6.8.1.2 CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器（地址 = E2h）[复位 = 00000000h]

CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器展示了 CONTROLLER_FAULT_STATUS，CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器字段说明中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

各种故障的状态

图 6-74. CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
CONTROLLER_FAULT	RESERVED	IPD_FREQ_FAULT	IPD_T1_FAULT	IPD_T2_FAULT	RESERVED		
R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h		
23	22	21	20	19	18	17	16
ABN_SPEED	LOSS_OF_SYNC	NO_MTR	MTR_LCK	CBC_ILIMIT	LOCK_ILIMIT	MTR_UNDER_VOLTAGE	MTR_OVER_VOLTAGE
R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h	R-0h
15	14	13	12	11	10	9	8
EXT_WD_TIMEOUT	RESERVED						
R-0h	R-0h						
7	6	5	4	3	2	1	0
RESERVED					STL_EN	STL_STATUS	APP_RESET
R-0h					R-0h	R-0h	R-0h

表 6-41. CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	CONTROLLER_FAULT	R	0h	控制器故障寄存器的逻辑或 0h = 未检测到控制器故障情况 1h = 检测到控制器故障情况
30	RESERVED	R	0h	保留

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-41. CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
29	IPD_FREQ_FAULT	R	0h	指示 IPD 频率故障 0h = 未检测到 IPD 频率故障 1h = 检测到 IPD 频率故障
28	IPD_T1_FAULT	R	0h	指示 IPD T1 故障 0h = 未检测到 IPD T1 故障 1h = 检测到 IPD T1 故障
27	IPD_T2_FAULT	R	0h	指示 IPD T2 故障 0h = 未检测到 IPD T2 故障 1h = 检测到 IPD T2 故障
26-24	RESERVED	R	0h	保留
23	ABN_SPEED	R	0h	指示异常速度电机锁定情况 0h = 未检测到异常速度故障 1h = 检测到异常速度故障
22	LOSS_OF_SYNC	R	0h	指示同步丢失电机锁定状况 0h = 未检测到同步丢失故障 1h = 检测到同步丢失故障
21	NO_MTR	R	0h	指示无电机故障 0h = 未检测到无电机故障 1h = 检测到无电机故障
20	MTR_LCK	R	0h	指示何时触发一个电机锁定 0h = 未检测到电机锁定故障 1h = 检测到电机锁定故障
19	CBC_ILIMIT	R	0h	指示 CBC 电流限制故障 0h = 未检测到 CBC 故障 1h = 检测到 CBC 故障
18	LOCK_ILIMIT	R	0h	指示锁定检测电流限制故障 0h = 未检测到锁定电流限值故障 1h = 检测到锁定电流限值故障
17	MTR_UNDER_VOLTAGE	R	0h	指示电机欠压故障。 0h = 未检测到电机欠压 1h = 检测到电机欠压
16	MTR_OVER_VOLTAGE	R	0h	指示电机过压故障 0h = 未检测到电机过压 1h = 检测到电机过压
15	EXT_WD_TIMEOUT	R	0h	指示外部看门狗超时故障 0h = 未检测到外部看门狗超时故障 1h = 检测到外部看门狗超时故障
14-3	RESERVED	R	0h	保留
2	STL_EN	R	0h	指示在 EEPROM 中启用了 STL 0h = STL 禁用 1h = STL 启用
1	STL_STATUS	R	0h	指示 STL 成功标准，通过 = 1b；失败 = 0b 0h = STL 失败 1h = STL 通过

表 6-41. CONTROLLER_FAULT_STATUS 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
0	APP_RESET	R	0h	应用复位 0h = 应用复位失败 1h = 应用复位成功

6.8.2 System_Status 寄存器

SYSTEM_STATUS 寄存器 列出了 System_Status 寄存器的存储器映射寄存器。 SYSTEM_STATUS 寄存器 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-42. SYSTEM_STATUS 寄存器

地址	首字母缩写词	寄存器名称	部分
E4h	SYS_STATUS1	系统状态寄存器 1	SYS_STATUS1 寄存器（地址 = E4h）[复位 = 00000000h]
EAh	SYS_STATUS2	系统状态寄存器 2	SYS_STATUS2 寄存器（地址 = EAh）[复位 = 00000000h]
ECh	SYS_STATUS3	系统状态寄存器 3	SYS_STATUS3 寄存器（地址 = ECh）[复位 = 00000000h]

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。 System_Status 访问类型代码 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-43. System_Status 访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

6.8.2.1 SYS_STATUS1 寄存器（地址 = E4h）[复位 = 00000000h]

SYS_STATUS1 寄存器 展示了 SYS_STATUS1， SYS_STATUS1 寄存器字段说明 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

各种系统和电机参数的状态

图 6-75. SYS_STATUS1 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
VOLT_MAG							
R-0h							
23	22	21	20	19	18	17	16
VOLT_MAG							
R-0h							
15	14	13	12	11	10	9	8
SPEED_CMD							
R-0h							
7	6	5	4	3	2	1	0
SPEED_CMD							I2C_ENTRY_STATUS

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

图 6-75. SYS_STATUS1 寄存器（续）

R-0h	R-0h

表 6-44. SYS_STATUS1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-16	VOLT_MAG	R	0h	施加的直流输入电压（/10 以获得输入直流电压，单位为 V）
15-1	SPEED_CMD	R	0h	PWM/模拟/频率模式下的解码速度命令 (SPEED_CMD (%) = SPEED_CMD/32767 * 100%)
0	I2C_ENTRY_STATUS	R	0h	指示是否发生了 I2C 进入 0h = 未通过引脚序列进入 I2C 模式 1h = 通过引脚序列进入 I2C 模式

6.8.2.2 SYS_STATUS2 寄存器（地址 = EAh）[复位 = 00000000h]

SYS_STATUS2 寄存器 展示了 SYS_STATUS2， SYS_STATUS2 寄存器字段说明 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

各种系统和电机参数的状态

图 6-76. SYS_STATUS2 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
状态				RESERVED			
R-0h				R-0h			
23	22	21	20	19	18	17	16
RESERVED						STL_FAULT	RESERVED
R-0h						R-0h	R-0h
15	14	13	12	11	10	9	8
MOTOR_SPEED							
R-0h							
7	6	5	4	3	2	1	0
MOTOR_SPEED							
R-0h							

表 6-45. SYS_STATUS2 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-28	状态	R	0h	状态机的当前状态；指示状态机状态的 4 位值 0h = SYSTEM_IDLE 1h = MOTOR_START 2h = MOTOR_RUN 3h = SYSTEM_INIT 4h = MOTOR_IPD 5h = MOTOR_ALIGN 6h = MOTOR_IDLE 7h = MOTOR_STOP 8h = FAULT 9h = MOTOR_DIRECTION Ah = HALL_ALIGN Ch = MOTOR_FREEWHEEL Dh = MOTOR_DESCEL Eh = MOTOR_BRAKE Fh = 不适用
27-18	RESERVED	R	0h	保留
17	STL_FAULT	R	0h	STL 故障状态 0h = 通过 1h = 失败
16	RESERVED	R	0h	保留
15-0	MOTOR_SPEED	R	0h	速度输出（/10 以获得电机电气速度，单位为 Hz）

6.8.2.3 SYS_STATUS3 寄存器（地址 = ECh）[复位 = 00000000h]

SYS_STATUS3 寄存器 展示了 SYS_STATUS3， SYS_STATUS3 寄存器字段说明 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

各种系统和电机参数的状态

图 6-77. SYS_STATUS3 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
DC_BUS_CURR																DC_BATT_POW															
R-0h																R-0h															

表 6-46. SYS_STATUS3 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31-16	DC_BUS_CURR	R	0h	直流总线电流（/256 以获得直流总线电流，单位为 A）
15-0	DC_BATT_POW	R	0h	电池（输入）功率（/64 以获得电池功率，单位为 W）

6.8.3 Algo_Control 寄存器

ALGO_CONTROL 寄存器 列出了 Algo_Control 寄存器的存储器映射寄存器。 ALGO_CONTROL 寄存器 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-47. ALGO_CONTROL 寄存器

地址	首字母缩写词	寄存器名称	部分
E6h	ALGO_CTRL1	算法控制参数	ALGO_CTRL1 寄存器（地址 = E6h）[复位 = 00000000h]

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。 Algo_Control 访问类型代码 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-48. Algo_Control 访问类型代码

访问类型	代码	说明
写入类型		
W	W	写入
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

6.8.3.1 ALGO_CTRL1 寄存器（地址 = E6h）[复位 = 00000000h]

ALGO_CTRL1 寄存器 展示了 ALGO_CTRL1， ALGO_CTRL1 寄存器字段说明 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

算法控制参数

图 6-78. ALGO_CTRL1 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
EEPROM_WRT	EEPROM_READ	CLR_FLT	CLR_FLT_RETRY_COUNT	EEPROM_WRITE_ACCESS_KEY			
W-0h	W-0h	W-0h	W-0h	W-0h			
23	**22**	**21**	**20**	**19**	**18**	**17**	**16**
EEPROM_WRITE_ACCESS_KEY				RESERVED			
W-0h				W-0h			
15	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**
RESERVED							
W-0h							
7	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**0**
RESERVED							EXT_WD_STATUS_SET
W-0h							W-0h

表 6-49. ALGO_CTRL1 寄存器字段说明

位	字段	类型	复位	说明
31	EEPROM_WRT	W	0h	将配置写入 EEPROM 1h = 从影子寄存器写入 EEPROM 寄存器
30	EEPROM_READ	W	0h	从 EEPROM 中读取默认配置 1h = 将 EEPROM 寄存器读取到影子寄存器
29	CLR_FLT	W	0h	清除所有故障 1h = 清除所有驱动器和控制器故障
28	CLR_FLT_RETRY_COUNT	W	0h	清除故障重试次数 1h = 清除锁定故障重试计数
27-20	EEPROM_WRITE_ACCESS_KEY	W	0h	EEPROM 写入访问密钥；用于解锁 EEPROM 写入命令的 8 位密钥
19-1	RESERVED	W	0h	保留

表 6-49. ALGO_CTRL1 寄存器字段说明（续）

位	字段	类型	复位	说明
0	EXT_WD_STATUS_SET	W	0h	通过外部 MCU 在 I2C 看门狗模式下设置看门狗状态 0h = 通过 MCC 自动复位 1h = 设置 EXT_WD_STATUS_SET

6.8.4 器件控制寄存器

器件控制寄存器 列出了器件控制寄存器的存储器映射寄存器。 器件控制寄存器 中未列出的所有寄存器偏移地址都应视为保留的位置，并且不应修改寄存器内容。

表 6-50. 器件控制寄存器

地址	首字母缩写词	寄存器名称	部分
E8h	DEVICE_CTRL	器件控制参数	DEVICE_CTRL 寄存器（地址 = E8h）[复位 = 00000000h]

复杂的位访问类型经过编码可适应小型表单元。 器件控制访问类型代码 展示了适用于此部分中访问类型的代码。

表 6-51. 器件控制访问类型代码

访问类型	代码	说明
读取类型		
R	R	读取
写入类型		
W	W	写入
复位或默认值		
-n		复位后的值或默认值

6.8.4.1 DEVICE_CTRL 寄存器（地址 = E8h）[复位 = 00000000h]

DEVICE_CTRL 寄存器 展示了 DEVICE_CTRL， DEVICE_CTRL 寄存器字段描述 中对此进行了介绍。

返回到汇总表。

器件控制参数

图 6-79. DEVICE_CTRL 寄存器

31	30	29	28	27	26	25	24
RESERVED	SPEED_CTRL						
W-0h	W-0h						
23	22	21	20	19	18	17	16
SPEED_CTRL							
W-0h							
15	14	13	12	11	10	9	8
OVERRIDE	RESERVED						
W-0h	R-0h						
7	6	5	4	3	2	1	0
RESERVED							
R-0h							

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 6-52. DEVICE_CTRL 寄存器字段描述

位	字段	类型	复位	说明
31	RESERVED	W	0h	保留
30-16	SPEED_CTRL	W	0h	数字速度命令 (SPEED_CTRL (%) = SPEED_CTRL/32767 * 100%)
15	OVERRIDE	W	0h	I2C 与 SPEED 引脚的速度输入选择 0h = SPEED_CMD 使用模拟/频率/PWM 模式 1h = SPEED_CMD 使用 SPD_CTRL[14:0]
14-0	RESERVED	R	0h	保留

7 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规格，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户应负责确定各元件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计是否能够实现，以确保系统功能。

7.1 应用信息

器件用于无传感器三相 BLDC 电机控制。该驱动器为电器、风扇、泵、住宅和生活风扇、座椅冷却风扇、汽车风扇和鼓风机提供了高性能、高可靠性、灵活的解决方案。以下部分介绍 器件的一种常见应用。

7.2 典型应用

图 7-1 所示为 MCT8316A-Q1 的典型应用原理图。

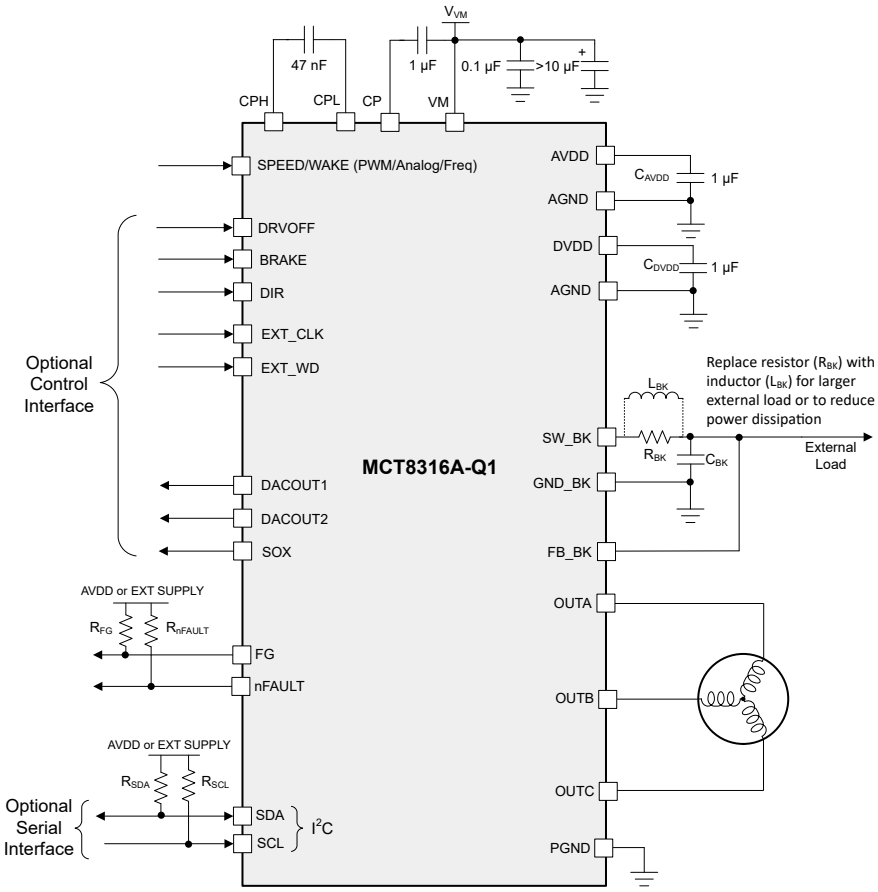


图 7-1. 主要应用原理图

表 7-1 列出了 MCT8316A 的外部元件的建议值。

表 7-1. MCT8316A 外部元件

元件	引脚 1	引脚 2	推荐
C_{VM1}	VM	PGND	X5R 或 X7R，0.1µF，TI 建议电容器的额定电压至少是器件正常工作电压的两倍
C_{VM2}	VM	PGND	≥ 10µF，TI 建议电容器的额定电压至少是器件正常工作电压的两倍
C_{CP}	CP	VM	X5R 或 X7R、16V、1µF 电容器

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

表 7-1. MCT8316A 外部元件（续）

元件	引脚 1	引脚 2	推荐
C_{FLY}	CPH	CPL	X5R 或 X7R，47nF，TI 建议电容器的额定电压至少是引脚正常工作电压的两倍
C_{AVDD}	AVDD	AGND	X5R 或 X7R，1μF，≥6.3V。为了让 AVDD 准确调节输出电压，电容器在工作温度范围内的 3.3V 下应具有 0.7μF 至 1.3μF 的有效电容。
C_{DVDD}	AVDD	AGND	X5R 或 X7R、1μF、≥4V。为了让 DVDD 准确调节输出电压，电容器应在工作温度范围内在 1.5V 下具有 0.6μF 至 1.3μF 的有效电容。
C_{BK}	SW_BK	GND_BK	X5R 或 X7R，降压输出额定电容器
L_{BK}	SW_BK	FB_BK	降压输出电感器
R_{FG}	1.8V 至 5V 电源电压	FG	5.1kΩ，上拉电阻器
R_{nFAULT}	1.8V 至 5V 电源电压	nFAULT	5.1kΩ，上拉电阻器
R_{SDA}	1.8V 至 3.3V 电源电压	SDA	5.1kΩ，上拉电阻器
R_{SCL}	1.8V 至 3.3V 电源电压	SCL	5.1kΩ，上拉电阻器

表 7-2 展示了 MCT8316A 的建议应用范围。

表 7-2. 建议应用范围

参数	最小值	最大值	单位
电机电压	4.5	35	V
电机电气速度	-	3000	Hz
峰值电机相电流	-	8	A

一旦使用所需的配置对器件 EEPROM 进行编程，器件就可以独立运行且不再需要 I^2C 串行接口。可以使用 SPEED 引脚来命令速度。

以下是在闭环中使电机旋转所需的两个基本参数。

1. 最大电机转速。
2. 逐周期 (CBC) 电流限制。

7.2.1 应用曲线

7.2.1.1 电机启动

图 7-2 展示了 MCT8316A 中各种启动方法（例如对齐、双对齐、IPD 和慢速首循环）的相电流波形。

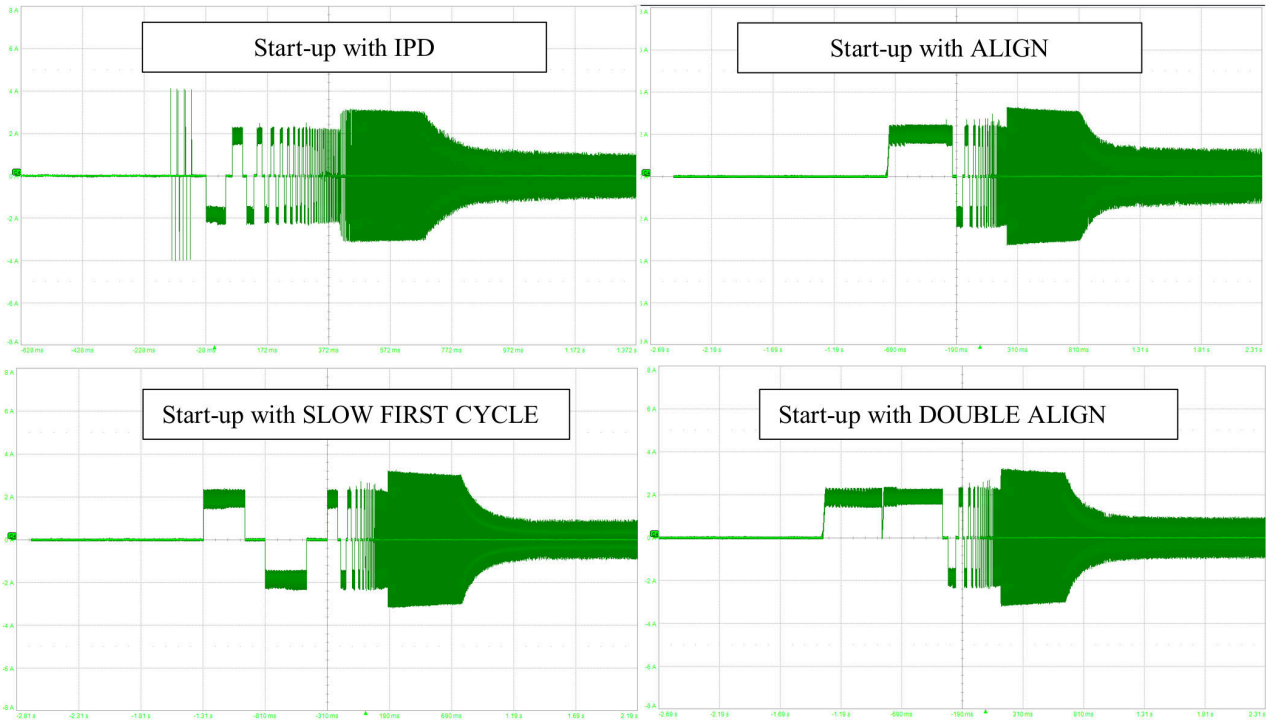


图 7-2. 所有启动方法的电机相电流波形

7.2.1.2 120° 和可变换向

在 120° 换向方案中，每半个电气周期内，每个电机相位都会在 120° 时被驱动并在 60° 时进入高阻态，进而导致电机出现六种不同的换向状态。图 7-3 展示了 120° 换向模式中的相电流与电流波形 FFT。在可变换向方案中，

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

MCT8316A 器件会根据电机转速在 120° 和 150° 梯形换向之间动态切换。在较低速度下，该器件会以 150° 模式工作，而在较高速度下，则会切换至 120° 模式。图 7-4 展示了 150° 换向模式下的相电流与电流波形 FFT。

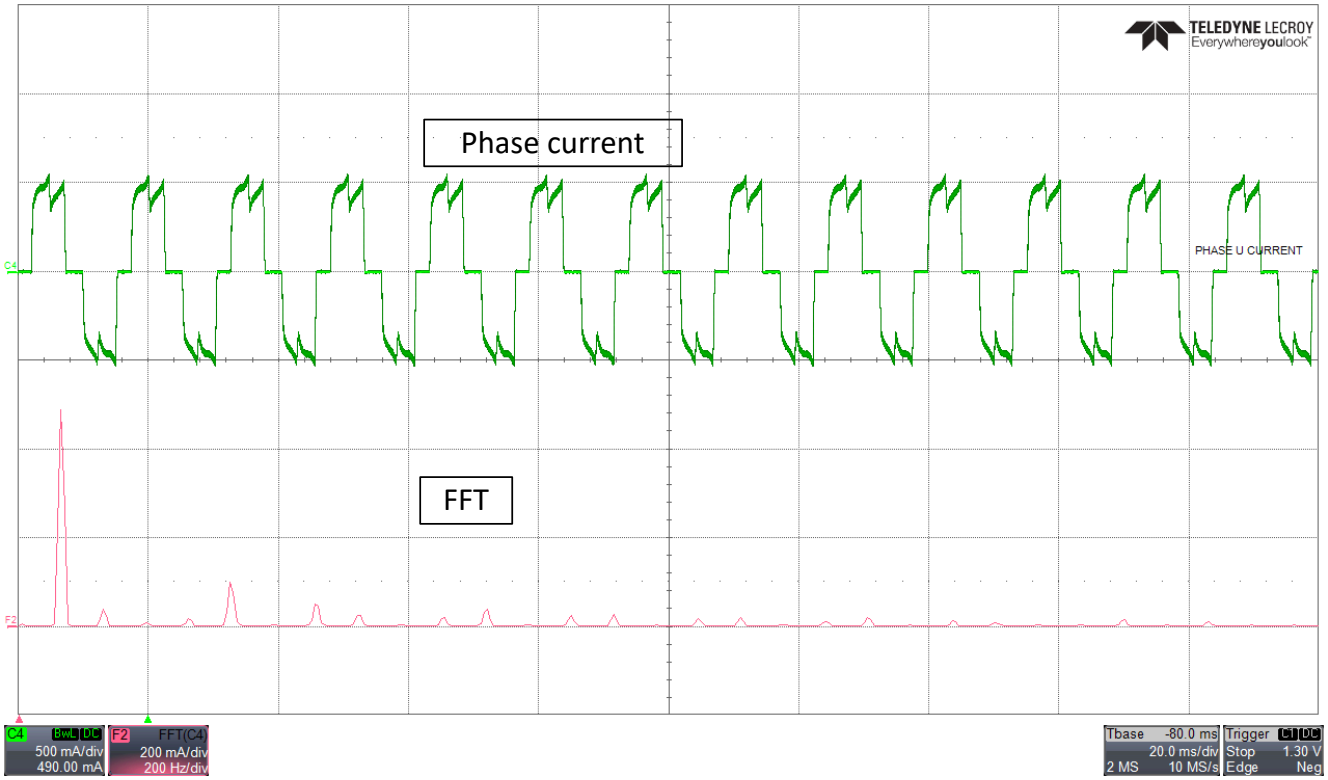


图 7-3. 相电流和 FFT - 120° 换向

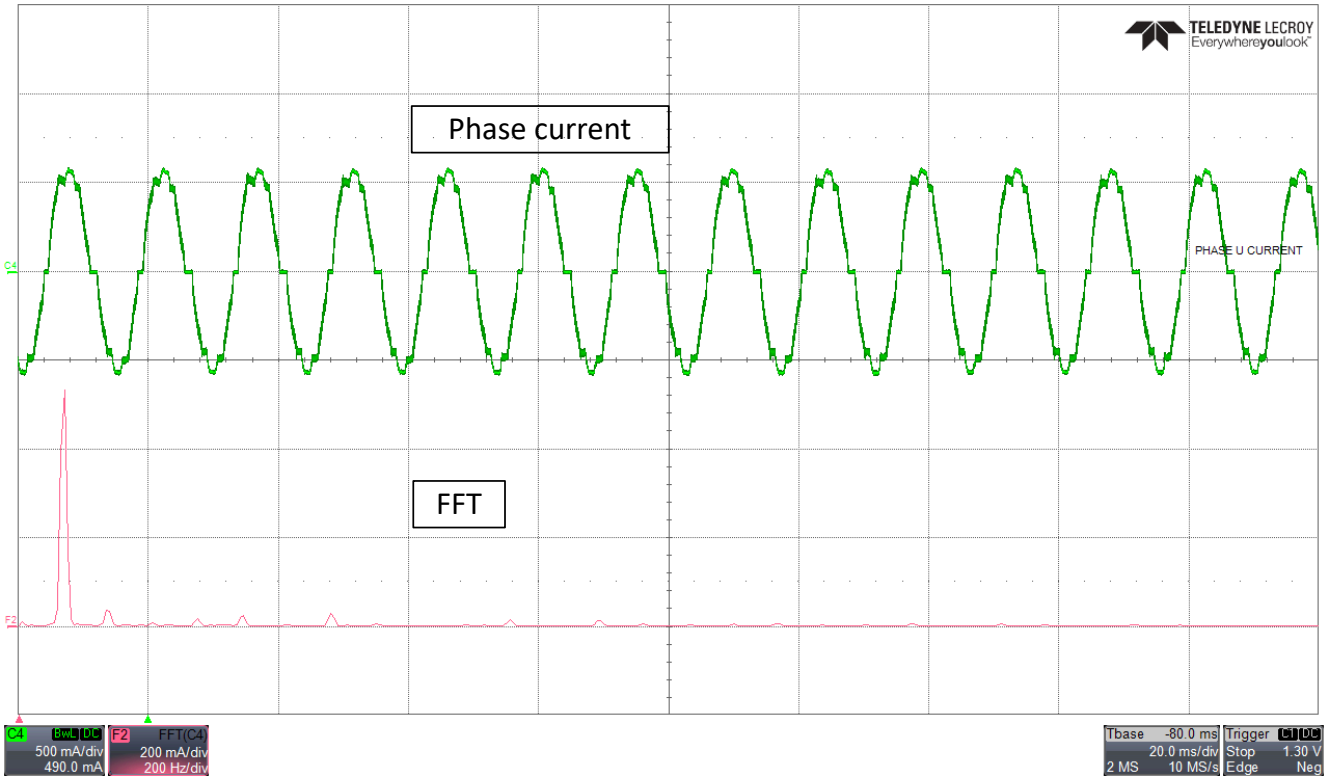


图 7-4. 相电流和 FFT - 150° 换向

7.2.1.3 更快的启动时间

启动时间是指电机从零速达到目标速度所需的时间。通过调优电机启动、开环和闭环设置，可以在 MCT8316A 中实现更短的启动时间。图 7-5 显示了 FG、相电流和电机电气速度波形。电机需要 50ms 才能从零达到目标速度。

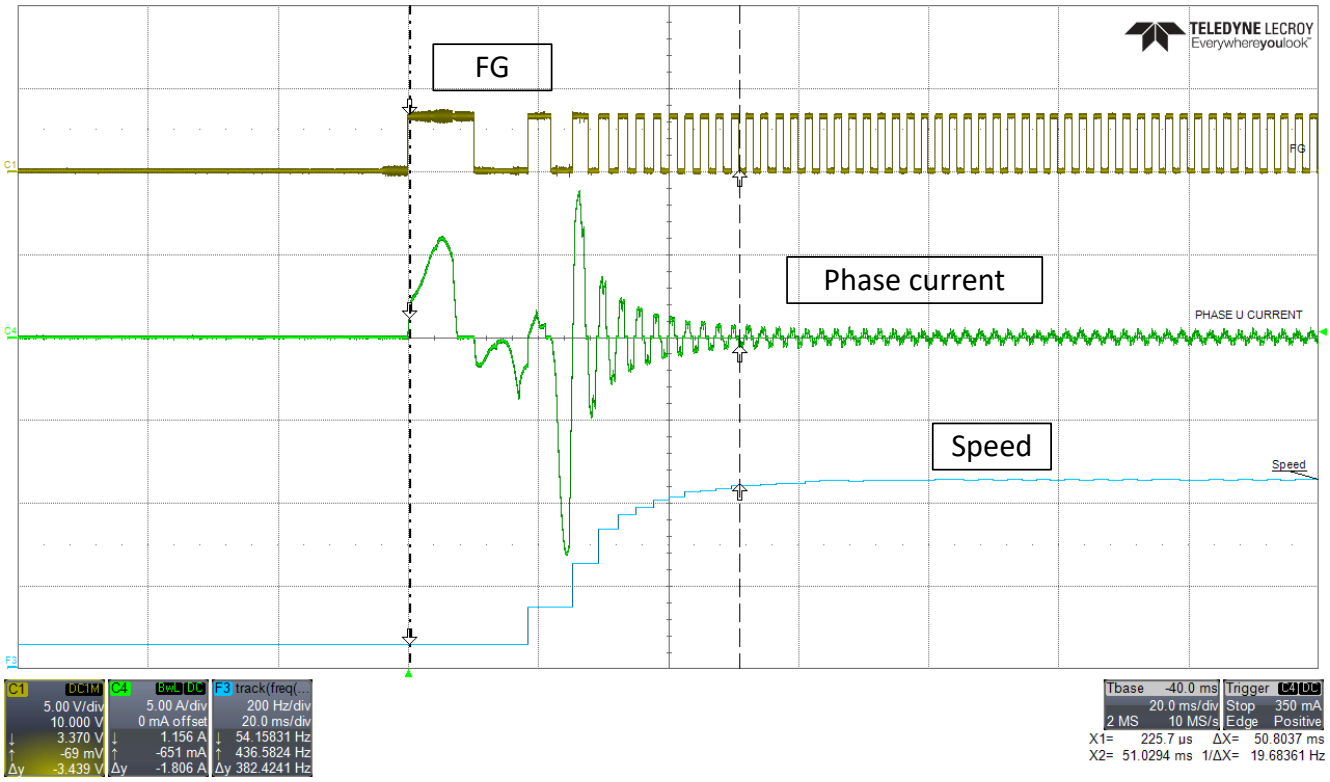


图 7-5. 相电流、FG 和电机速度 – 更快的启动速度

7.2.1.4 设置 BEMF 阈值

可以根据滑行期间的电机相电压波形来计算 MCT8316A 中用于换向瞬间检测的 BEMF_THRESHOLD1 和 BEMF_THRESHOLD2 值。例如，请考虑图 7-6 所示的滑行期间 BLDC 电机的三相电压波形。滑行期间的电机相电压是电机反电动势。

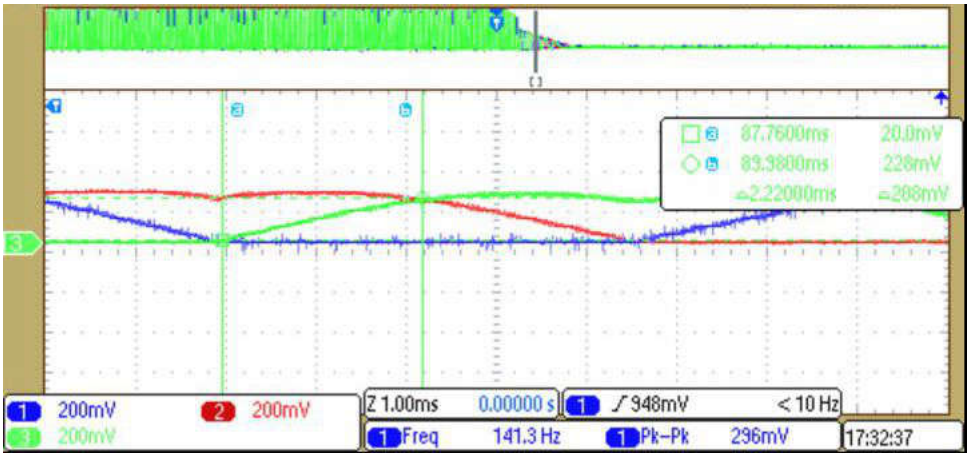


图 7-6. 滑行期间的电机相电压

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

在图 7-6 中，一个浮动相电压间隔由通道 3 上的垂直标记表示。通道 3 上的 Vpeak（反电动势峰峰值）为 208mV，Tc（换向间隔）为 2.22ms，由通道 3 上的水平和垂直标记表示。Vpeak 和 Tc 的数字等效计数值计算方法如下所示。

在 MCT8316A 中，3V 模拟输入对应 4095 次计数（12 位），相电压在 ADC 输入之前按比例缩小为原来的十分之一；因此，208mV 的 Vpeak 对应于 20.8mV 的 ADC 输入，这相应地等于 29 次 ADC 计数。假设 PWM 开关频率为 25kHz，则每 40 µs 可获得一个反电动势样本。因此，在 2.22ms 的时间间隔内，总共集成了 55 个反电动势样本。因此，计算得出的 BEMF_THRESHOLD1 或 BEMF_THRESHOLD2 值为 (½) * (29/2) * (55/2) = 199。因此，在该示例中，BEMF_THRESHOLD1 和 BEMF_THRESHOLD2 被设置为 8h（对应于 200，这是最接近于 199 的值），以便在快速启动期间使用反电动势积分方法进行换向瞬间检测。测量 Vpeak 和 Tc 值以计算 BEMF_THRESHOLD1 和 BEMF_THRESHOLD2 值的确切速度并不重要（只要数字计数有足够的分辨率即可），因为乘积 (Vpeak * Tc) 对于给定的 BLDC 电机在很大程度上是一个常数。

7.2.1.5 最大速度

图 7-7 展示了以 3kHz 的最大电气速度旋转的电机的相电流、相电压和 FG。

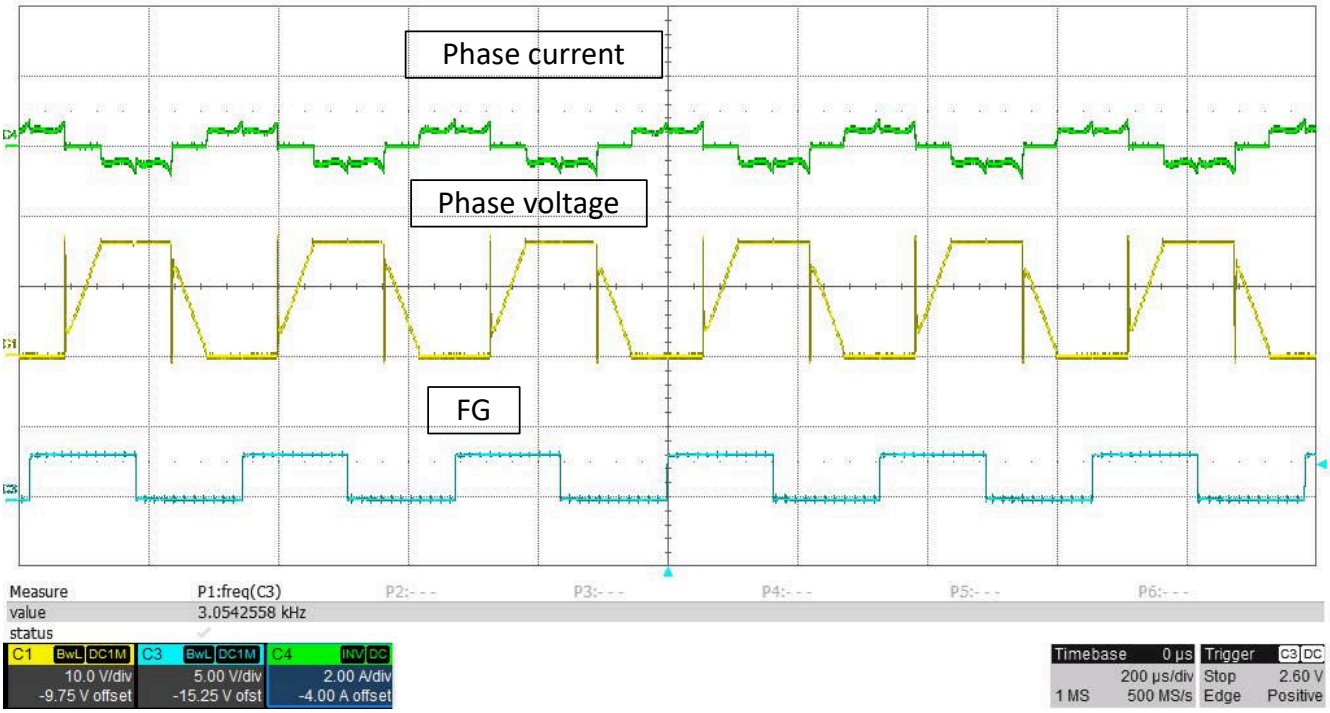


图 7-7. 最大速度下的相电流、相电压和 FG

7.2.1.6 更快速减速

MCT8316A 具有使电机快速减速的功能。图 7-8 显示了当电机从 100% 占空比降至 10% 占空比时的相电流和电机电气速度波形。禁用快速减速时，电机从 100% 占空比减速到 10% 占空比所需的时间约为 10 秒。图 7-9 显示了当电机从 100% 占空比降至 10% 占空比时的相电流和电机电气速度波形。启用快速减速时，电机从 100% 占空比减速到 10% 占空比所需的时间约为 1.5 秒。

备注

请注意，当启用快速减速并禁用抗电压浪涌 (AVS) 时，电源电压中可能会出现电压尖峰。启用 AVS，以保护电源在电机减速期间不受电压过冲的影响。

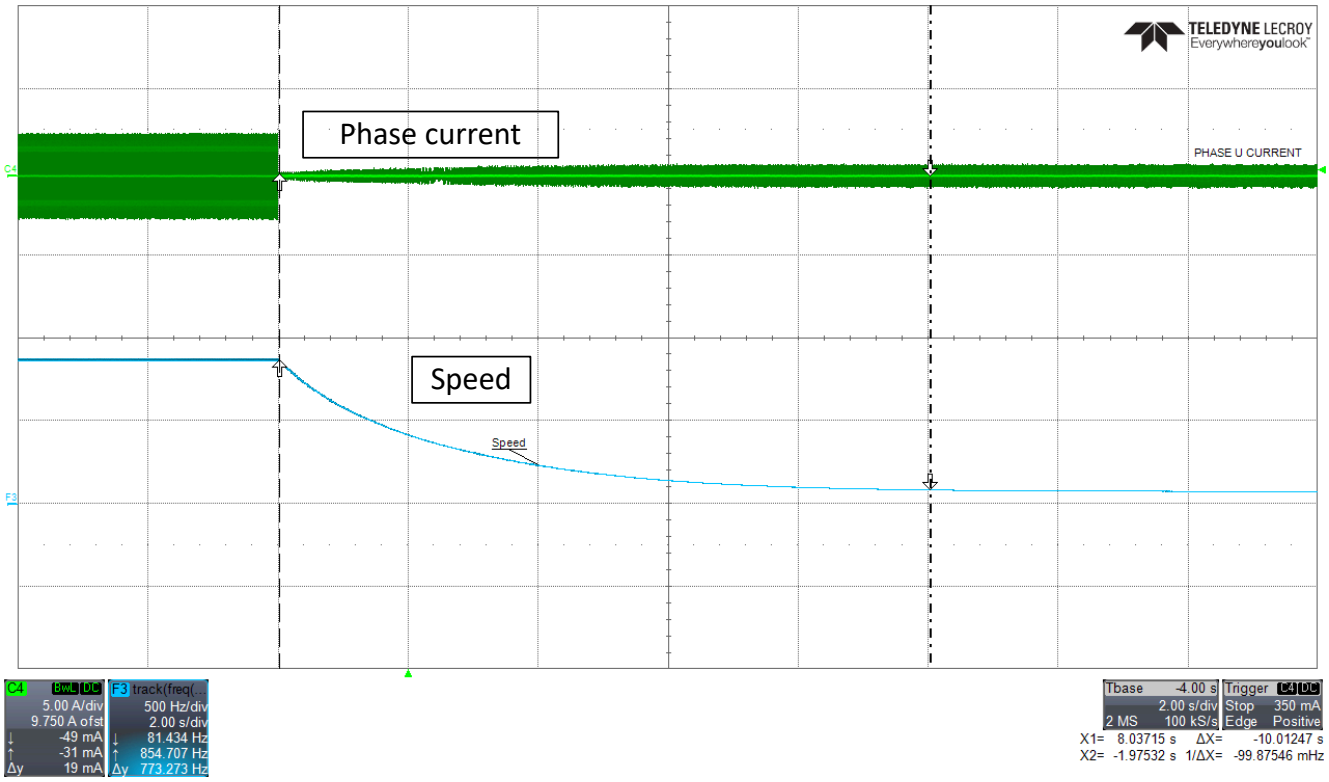


图 **7-8.** 相电流和电机速度 – 已禁用更快速减速

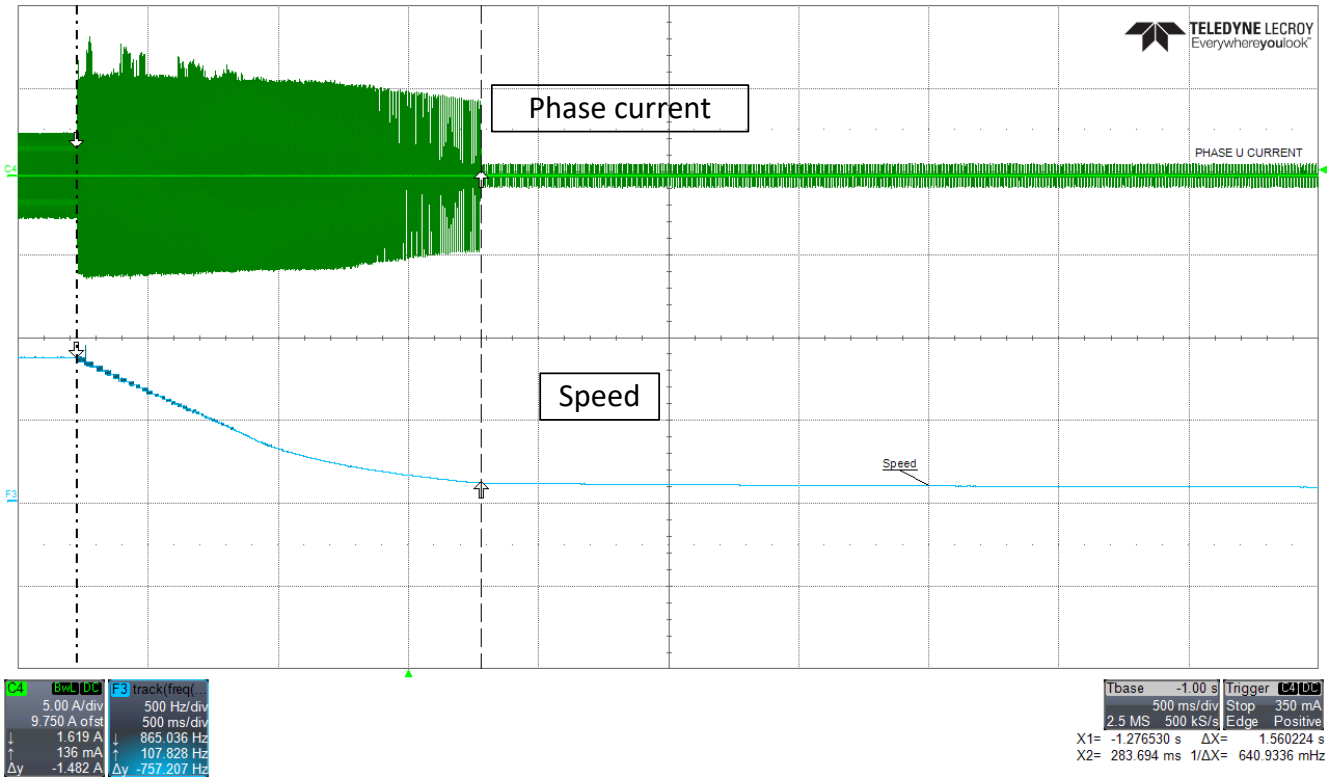


图 **7-9.** 相电流和电机速度 – 已启用更快速减速

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.3 电源相关建议

7.3.1 大容量电容

配备合适的局部大容量电容是电机驱动系统设计中的一项重要因素。使用更多的大容量电容通常是有益的，但缺点是增加了成本和物理尺寸。

所需的局部电容数量取决于多种因素，包括：

- 电机系统所需的最高电流
- 电源的电容和电流能力
- 电源和电机系统之间的寄生电感量
- 可接受的电压纹波
- 使用的电机类型（有刷直流、无刷直流、步进电机）
- 电机制动方法

电源和电机驱动系统之间的电感会限制电源提供的电流的变化速率。如果局部大容量电容太小，系统将以 VM 电压变化的方式对电机中的电流不足或过剩电流作出响应。当使用足够大的大容量电容时，VM 电压保持稳定，并且可以快速提供大电流。

数据表通常会给出建议值，但需要进行系统级测试来确定适当的大容量电容器。

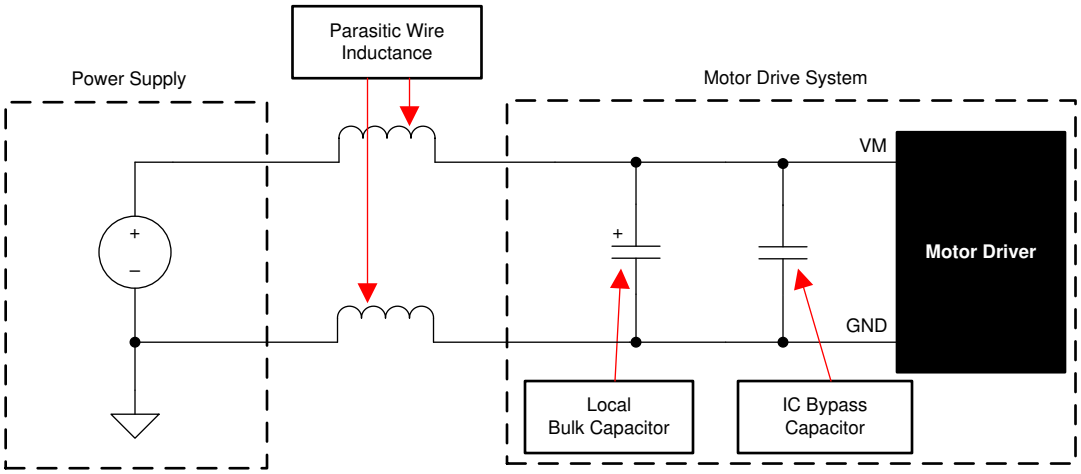


图 7-10. 带外部电源的电机驱动系统示例设置

大容量电容的额定电压应高于工作电压，以便在电机向电源传递能量时提供裕度。

7.4 布局

7.4.1 布局指南

放置大容量电容器时，应尽量缩短通过电机驱动器器件的大电流路径的距离。连接金属布线宽度应尽可能宽，并且在连接 PCB 层时应使用许多过孔。这些做法更大限度地减少了寄生电感并允许大容量电容器提供大电流。

小值电容器应为陶瓷电容器，并靠近器件引脚放置。

大电流器件输出应使用宽金属布线。

为减少大瞬态电流进入小电流信号路径的噪声耦合和 EMI 干扰，应在 PGND 和 AGND 之间分区接地。TI 建议将所有非功率级电路（包括散热焊盘）连接到 AGND，以降低寄生效应并改善器件的功率耗散。（可选）可以拆分 GND_BK。确保接地端通过网络连接或宽电阻器连接，以减小电压偏移并保持栅极驱动器性能。

器件散热焊盘应焊接到 PCB 顶层接地平面。应使用多个过孔连接到较大的底层接地平面。使用大金属平面和多个过孔有助于散发器件中产生的 $I^2 \times R_{DS(on)}$ 热量。

为了提高热性能，请在 PCB 的所有可能层上尽可能地增大连接到散热焊盘接地端的接地面积。使用较厚的覆铜可以降低结至空气热阻并改善芯片表面的散热。

通过接地隔离将 SW_BK 和 FB_BK 迹线分开，减少降压开关作为噪声耦合到降压外部反馈环路中的情况。尽可能加宽 FB_BK 迹线，以实现更快的负载开关。

图 7-11 展示了 MCT8316A-Q1 的布局示例。另外，有关布局示例，请参阅 MCT8316A-Q1 EVM 。

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

7.4.2 布局示例

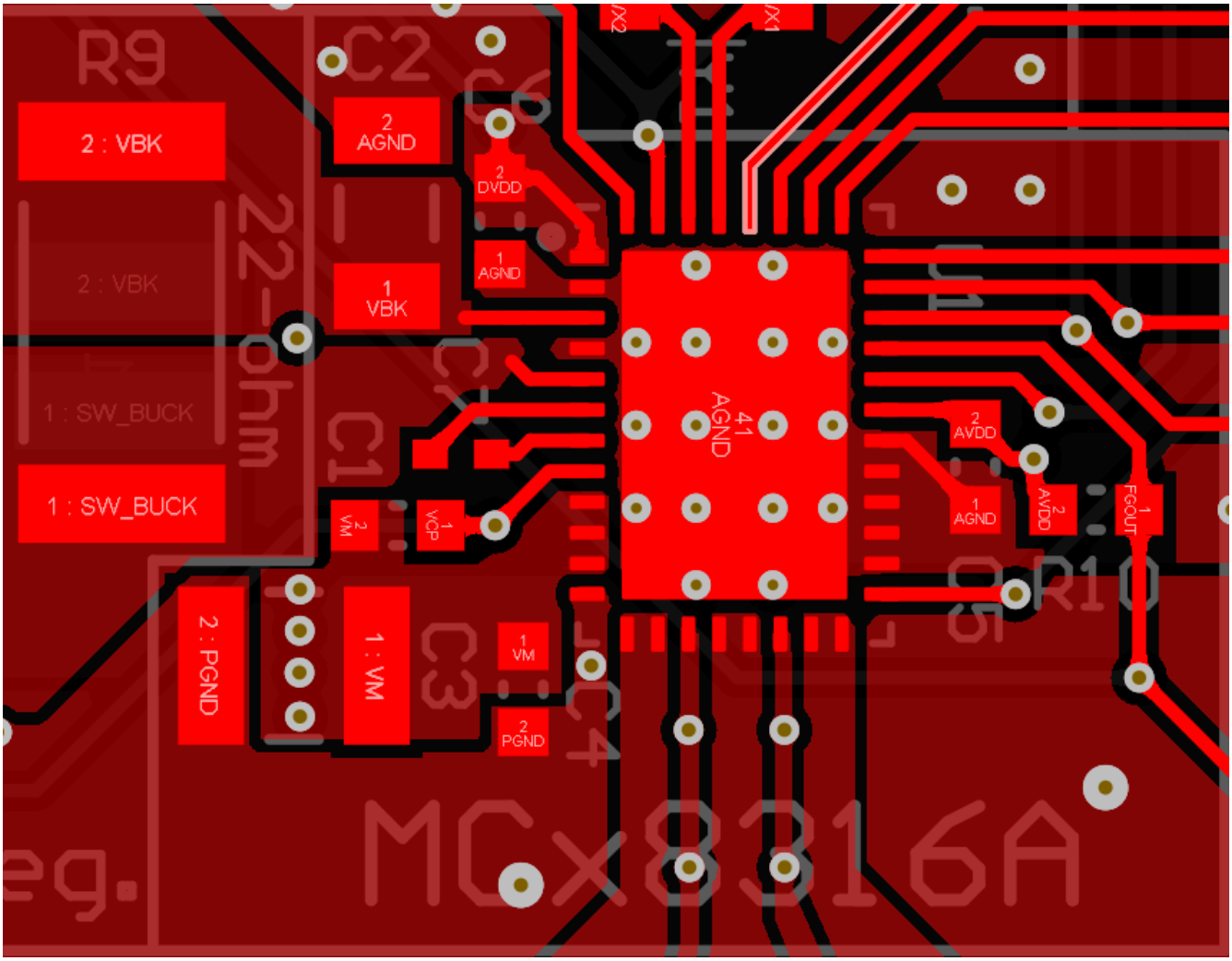


图 7-11. 推荐布局示例

7.4.3 散热注意事项

MCT8316A-Q1 具有如前所述的热关断功能 (TSD)。如果内核温度超过 150°C（最低），则会禁用器件，直到温度降至安全水平。

如果该器件有任何进入热关断状态的倾向，则说明功耗过大、散热不足或环境温度过高。

7.4.3.1 功率耗散

输出 FET 电阻 ($R_{DS(on)}$) 中耗散的功率在 MCT8316A 的功率耗散中占主导地位。

在启动和故障条件下，FET 电流远大于正常运行 FET 电流；务必将这些峰值电流及其持续时间考虑在内。

器件总功率损耗是在三个半桥的每个半桥上耗散的功率以及待机功率、LDO 和降压稳压器损耗相加的结果。

器件可耗散的最大功率取决于环境温度和散热。

请注意，$R_{DS(on)}$ 随温度升高而增加，因此随着器件发热，功率耗散也会增大。在确定散热器尺寸时，请考虑这一点。

用于计算每个损耗的公式摘要如表 7-3 所示。

表 7-3. MCT8316A-Q1 的功率损耗

损耗类型	MCT8316A-Q1
待机功耗	$P_{standby} = VM \times I_{VM_TA}$
LDO	$P_{LDO} = (VM-V_{AVDD}) \times I_{AVDD}$（如果 BUCK_PS_DIS = 1b） $P_{LDO} = (V_{BK}-V_{AVDD}) \times I_{AVDD}$（如果 BUCK_PS_DIS = 0b）
FET 导通	$P_{CON} = 2 \times (I_{RMS(trap)})^2 \times R_{ds,on(TA)}$
FET 开关	$P_{SW} = I_{PK(trap)} \times V_{PK(trap)} \times t_{rise/fall} \times f_{PWM}$
Diode	$P_{diode} = I_{PK(trap)} \times V_{diode} \times t_{dead} \times f_{PWM}$
消磁	无主动消磁：$3 \times I_{PK(trap)} \times V_{diode} \times t_{commutation} \times f_{motor_elec}$ 带主动消磁：$3 \times (I_{RMS(trap)})^2 \times R_{ds,on(TA)} \times t_{commutation} \times f_{motor_elec}$
降压	$P_{BK} = 0.11 \times V_{BK} \times I_{BK}$（$\eta_{BK}$ = 90%）

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

8 器件和文档支持

8.1 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的使用条款。

8.2 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

8.3 静电放电警告

静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

8.4 术语表

TI 术语表　　本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

9 修订历史记录

表 9-1.

日期	修订版本	注释
2024 年 5 月	*	初始发行版

10 机械、封装和可订购信息

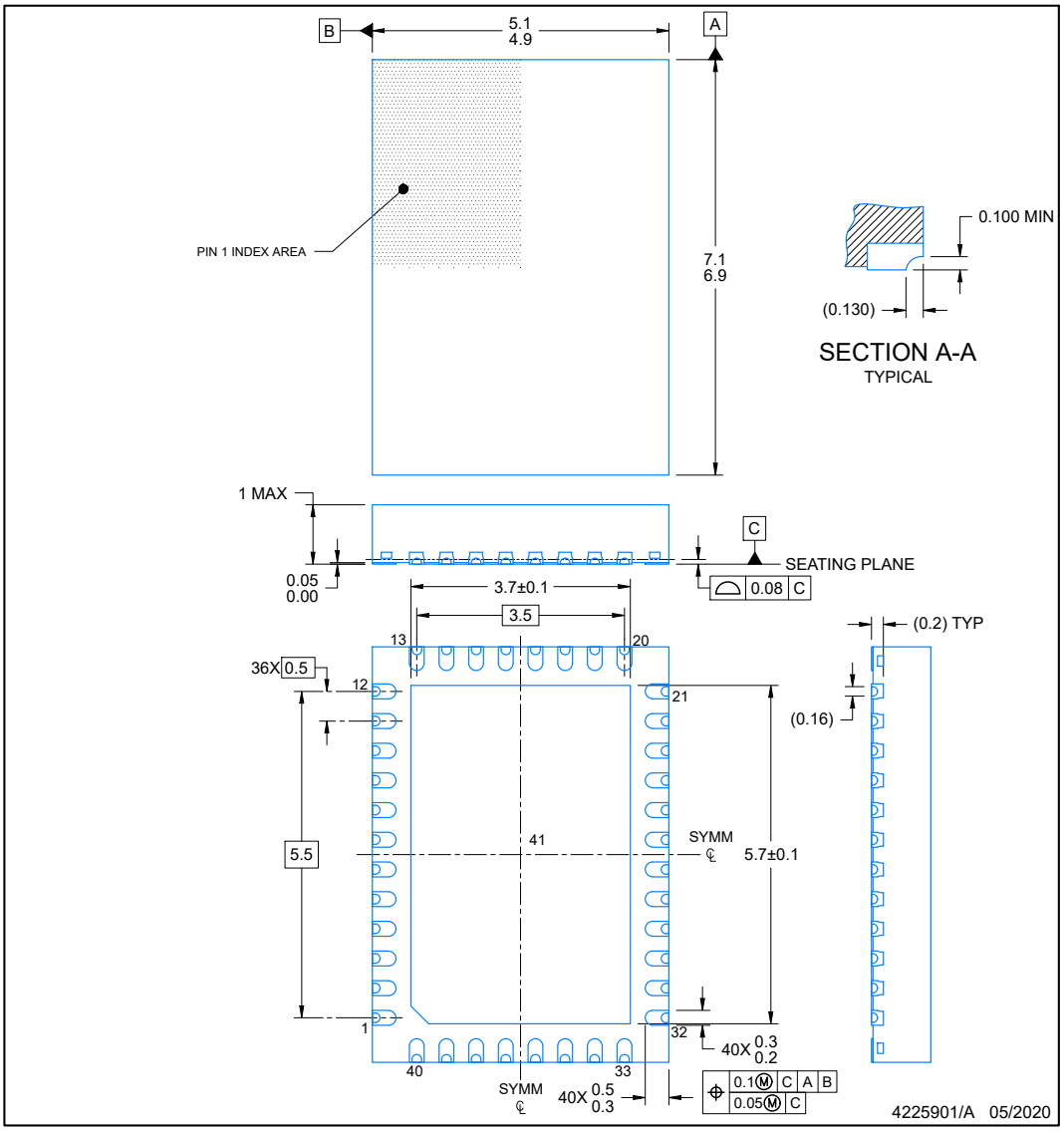
以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。如需获取此数据表的浏览器版本，请查看左侧的导航面板。

PACKAGE OUTLINE

RGF0040F

VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK- NO LEAD



NOTES:

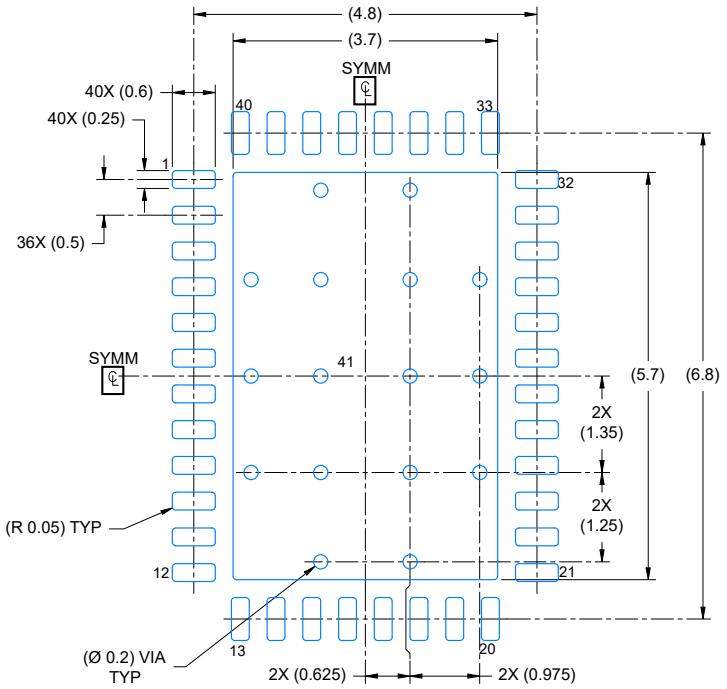
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for optimal thermal and mechanical performance.

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

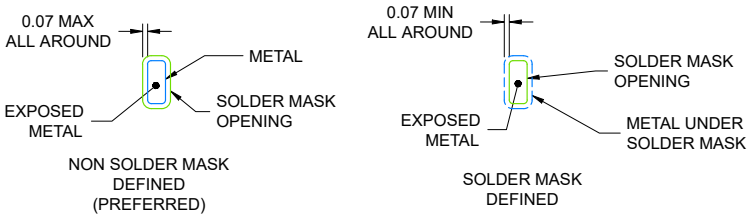
EXAMPLE BOARD LAYOUT

RGF0040F — **VQFN - 1 mm max height**

PLASTIC QUAD FLATPACK- NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 12X



SOLDER MASK DETAILS

4225901/A 05/2020

NOTES: (continued)

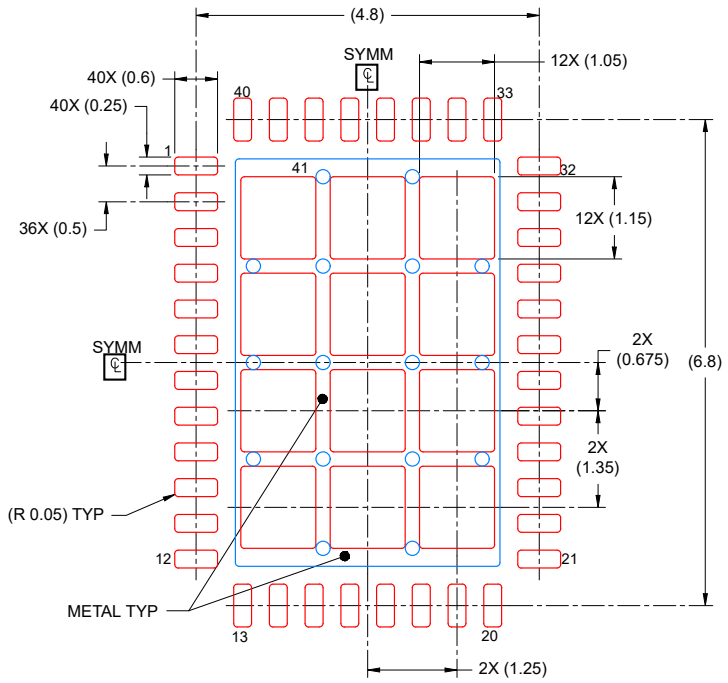
4. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271) .
5. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

EXAMPLE STENCIL DESIGN

RGF0040F **VQFN - 1 mm max height**

PLASTIC QUAD FLATPACK- NO LEAD



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL

EXPOSED PAD
69% PRINTED COVERAGE BY AREA
SCALE: 12X

4225901/A 05/2020

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

Copyright © 2024 Texas Instruments Incorporated

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
MCT8316A1VQRGFRQ1	Active	Production	VQFN (RGF) | 40	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	MT16A1V
MCT8316A1VQRGFRQ1.A	Active	Production	VQFN (RGF) | 40	3000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	MT16A1V
MCT8316A1VQRGFRQ1.B	Active	Production	VQFN (RGF) | 40	3000 | LARGE T&R	-	Call TI	Call TI	-40 to 125	

(1) **Status:** For more details on status, see our product life cycle.

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the TI RoHS Statement for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF MCT8316A-Q1 :

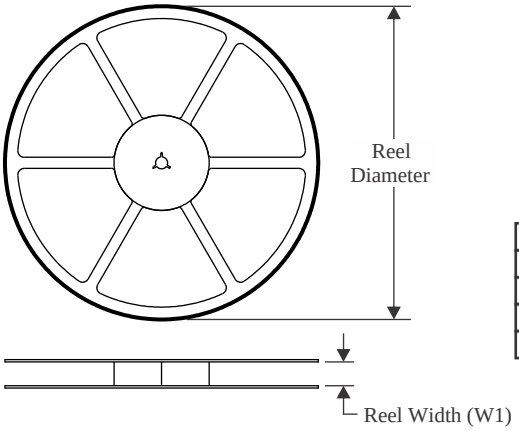
- Catalog : MCT8316A

NOTE: Qualified Version Definitions:

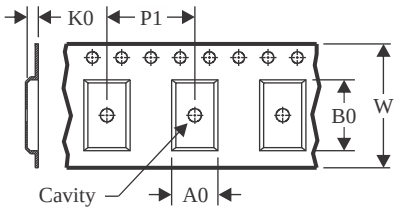
- Catalog - TI's standard catalog product

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

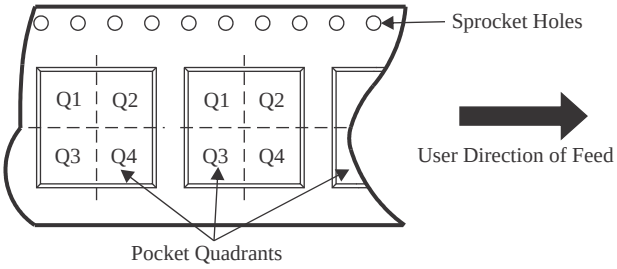


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

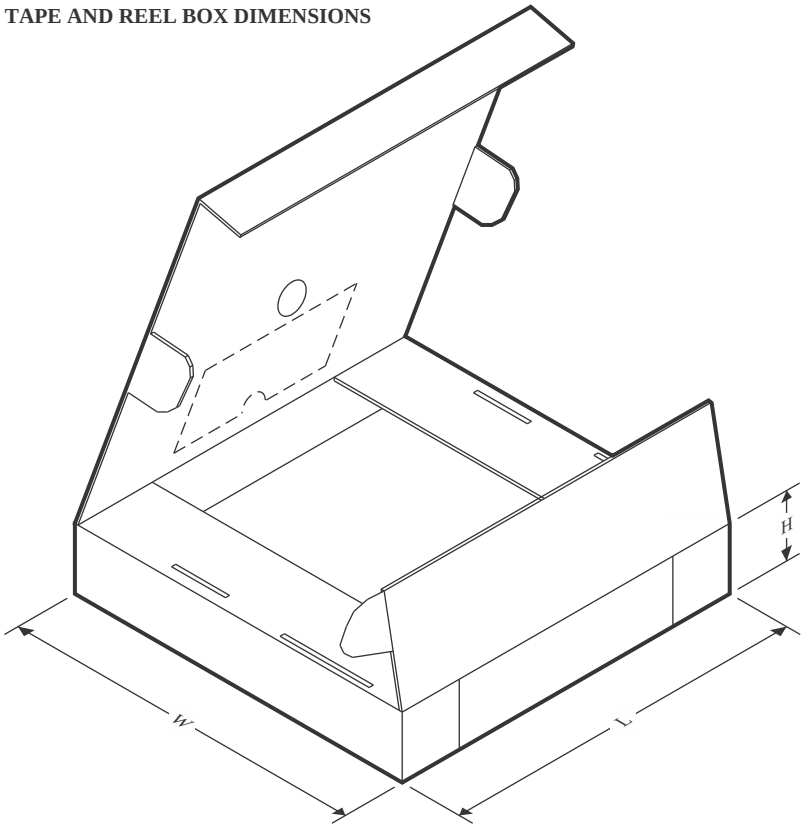
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
MCT8316A1VQRGFRQ1	VQFN	RGF	40	3000	330.0	16.4	5.25	7.25	1.45	8.0	16.0	Q1

TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
MCT8316A1VQRGFRQ1	VQFN	RGF	40	3000	360.0	360.0	36.0

GENERIC PACKAGE VIEW

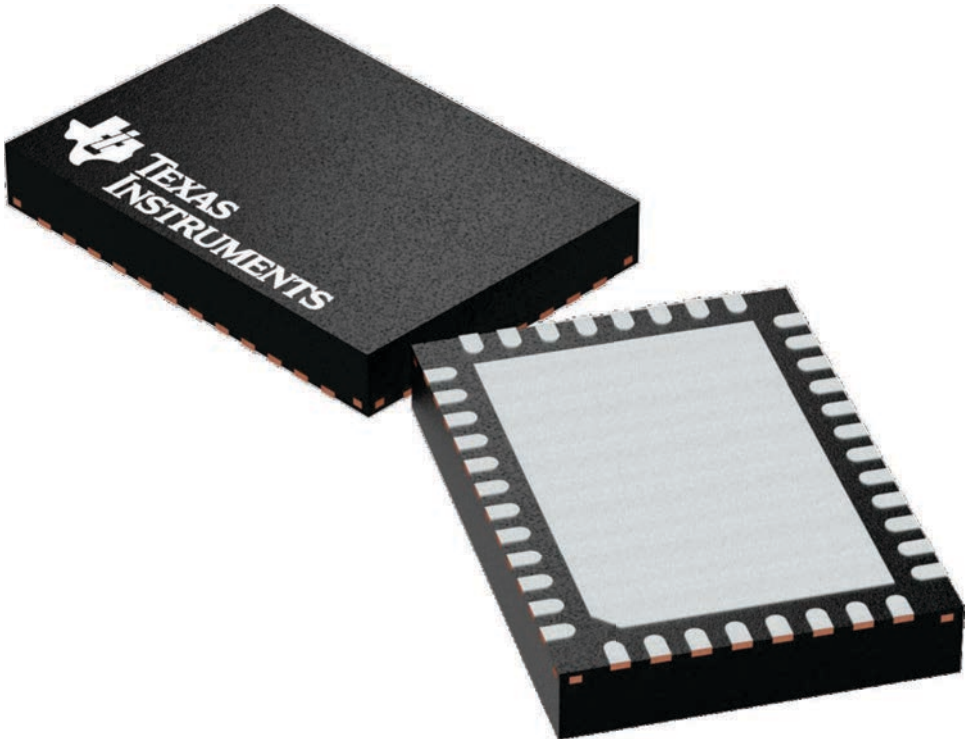
RGF 40

VQFN - 1 mm max height

5 x 7, 0.5 mm pitch

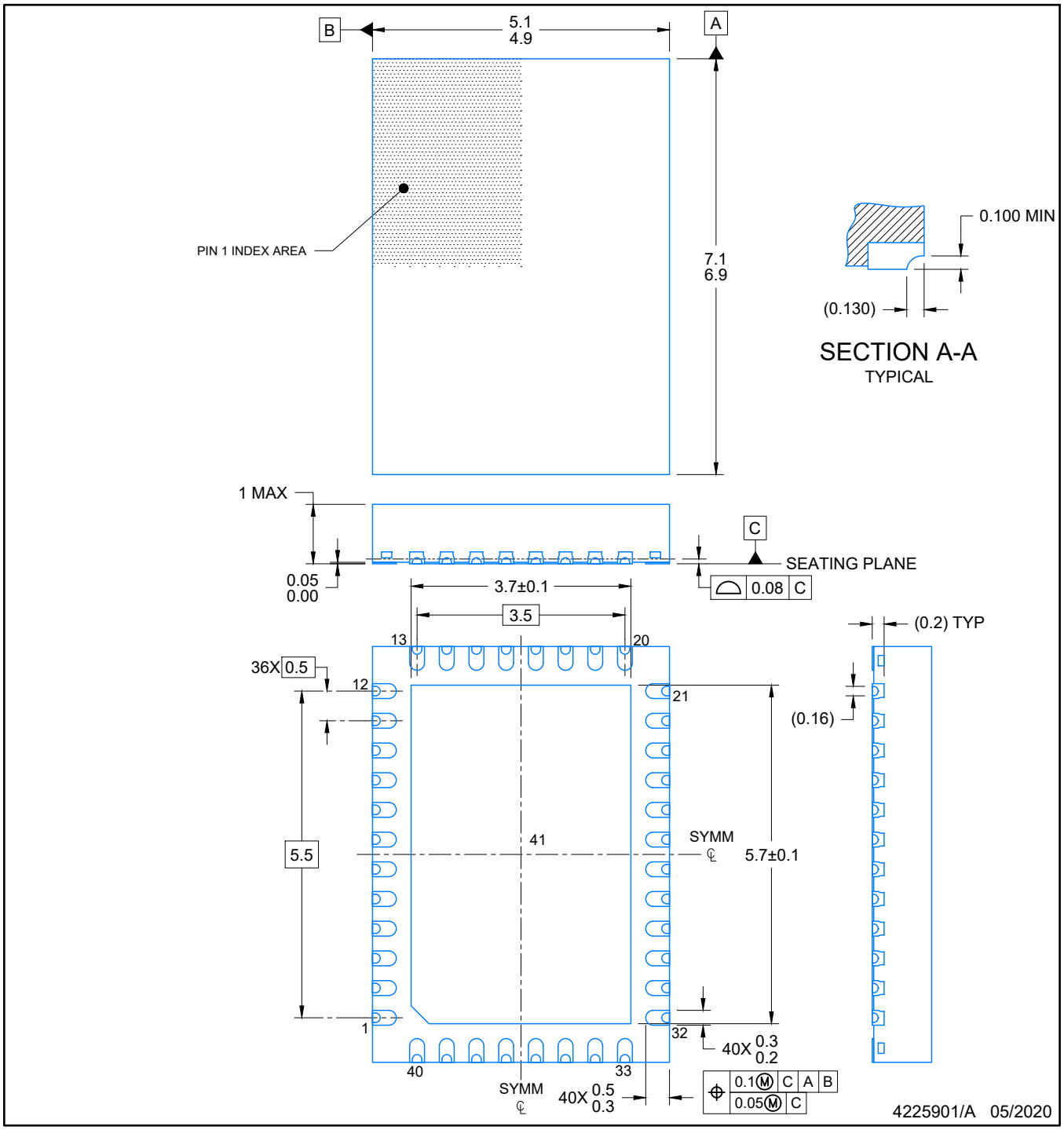
PLASTIC QUAD FLAT PACK- NO LEAD

This image is a representation of the package family, actual package may vary.
Refer to the product data sheet for package details.



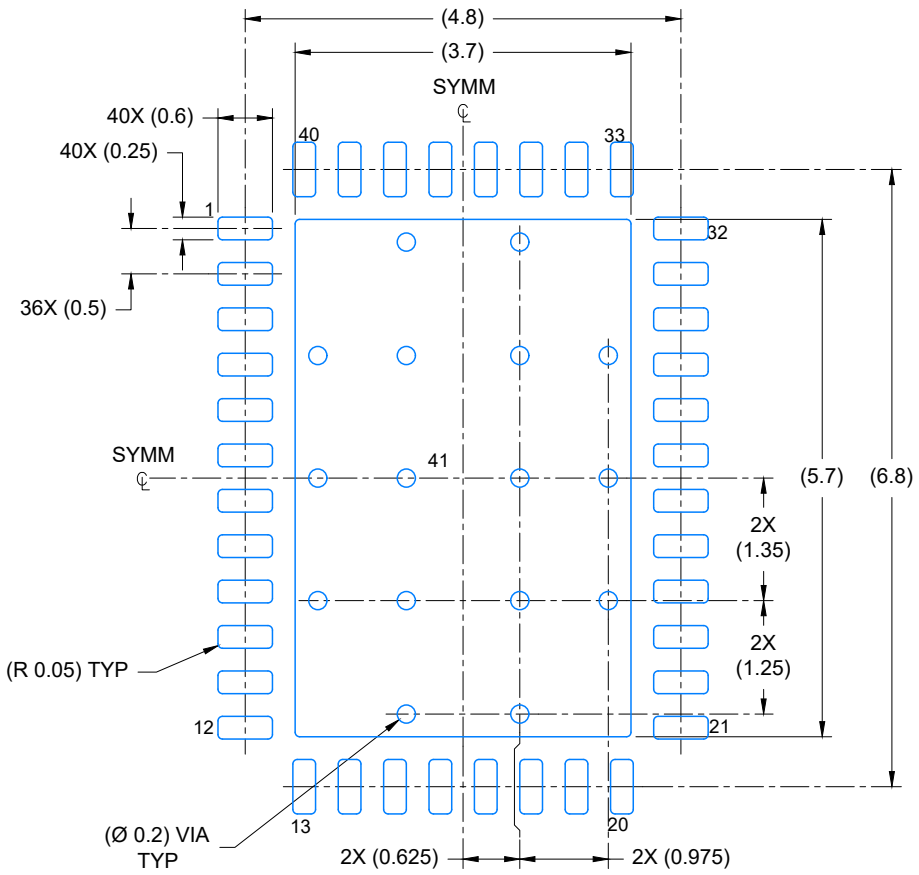
4225115/A

PLASTIC QUAD FLATPACK- NO LEAD

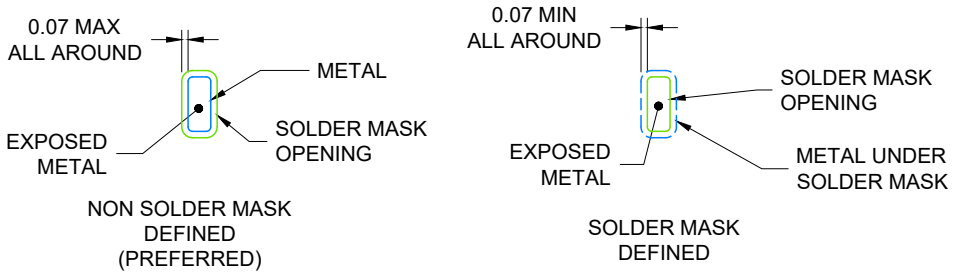


NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for optimal thermal and mechanical performance.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 12X

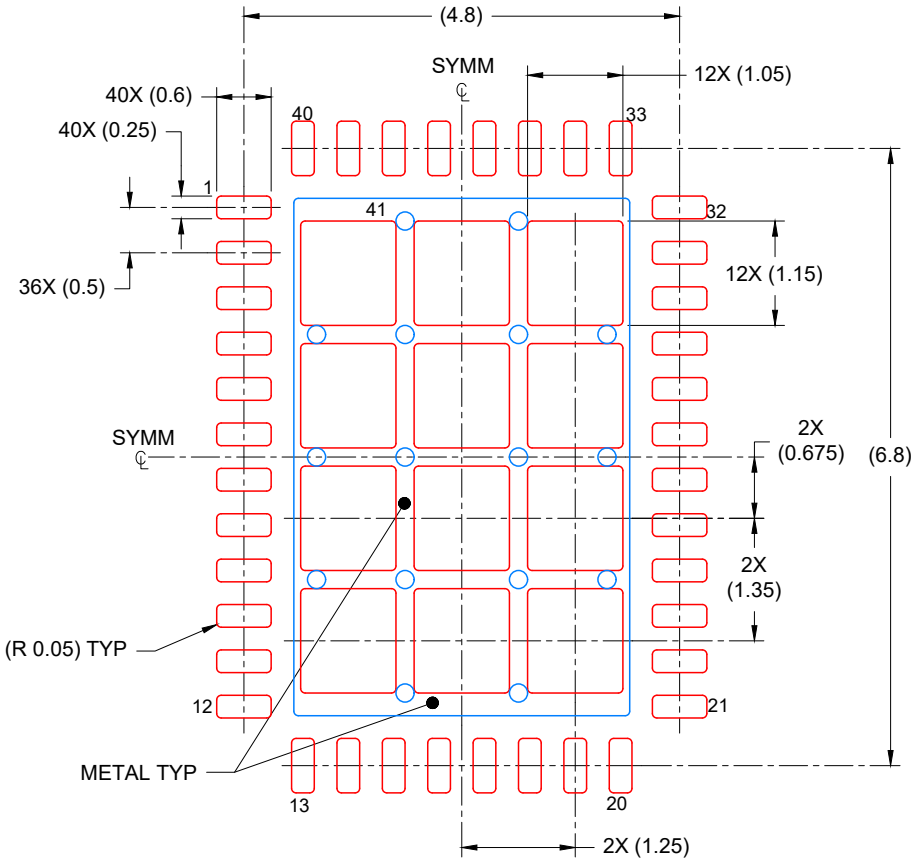


SOLDER MASK DETAILS

4225901/A 05/2020

NOTES: (continued)

4. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 (www.ti.com/lit/slua271).
5. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL

EXPOSED PAD
69% PRINTED COVERAGE BY AREA
SCALE: 12X

4225901/A 05/2020

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

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出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