

## 带功率模块的三相无刷直流（BLDC）电机 栅极驱动器

### 特性：

- 三个半桥驱动器，配置为驱动外部上桥臂NMOS和下桥臂NMOS MOSFET：
  - 上桥臂NMOS和下桥臂NMOS MOSFET采用独立输入控制
  - 峰值输出电流：12V时为0.5A
  - 直通保护
  - 过流和短路保护
- 输出可调的降压稳压器（750 mW）
- 输出固定的线性稳压器：
  - 20 mA时为5V
  - 20 mA时为12V
- 内部带隙参考
- 三个运算放大器，用于电机相电流监视和位置检测
- 过流比较器
- 两个电平转换器
- 工作电压范围：6 - 40V
- 欠压锁定（Undervoltage Lockout, UVLO）：6V
- 过压锁定（Overvoltage Lockout, OVLO）：28V
- 瞬态（100 ms）电压容差：48V
- 扩展级温度范围：T<sub>A</sub>-40至+150°C
- 热关断

### 应用：

- 汽车燃料发动机、水力发动机和通风电机
- 家用电器
- 永磁同步电机（Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM）控制
- 业余爱好者的飞机、船和汽车

### 相关文献：

- AN885, 《无刷直流（BLDC）电机基础》，DS00885A\_CN, Microchip Technology Inc., 2003
- AN1160, 《用择多函数实现反电动势滤波的无传感器BLDC控制》，DS01160B\_CN, Microchip Technology Inc., 2008
- AN1078, 《PMSM电机的无传感器磁场定向控制》，DS01078B\_CN, Microchip Technology Inc., 2010

### 说明：

MCP8024 是三相无刷直流（Brushless DC, BLDC）功率模块。MCP8024 器件集成三个用于驱动外部NMOS/NMOS 晶体管对（晶体管对配置为驱动三相BLDC 电机）的半桥驱动器、一个比较器、一个用于为配套单片机提供偏置的稳压器、功率监视比较器、一个过温传感器、两个电平转换器和三个用于监视电机电流的运算放大器。

MCP8024 具有三个半桥驱动器，可在12V时提供0.5A的峰值输出电流来驱动上桥臂和下桥臂NMOS MOSFET晶体管。驱动器具有直通、过流和短路保护。

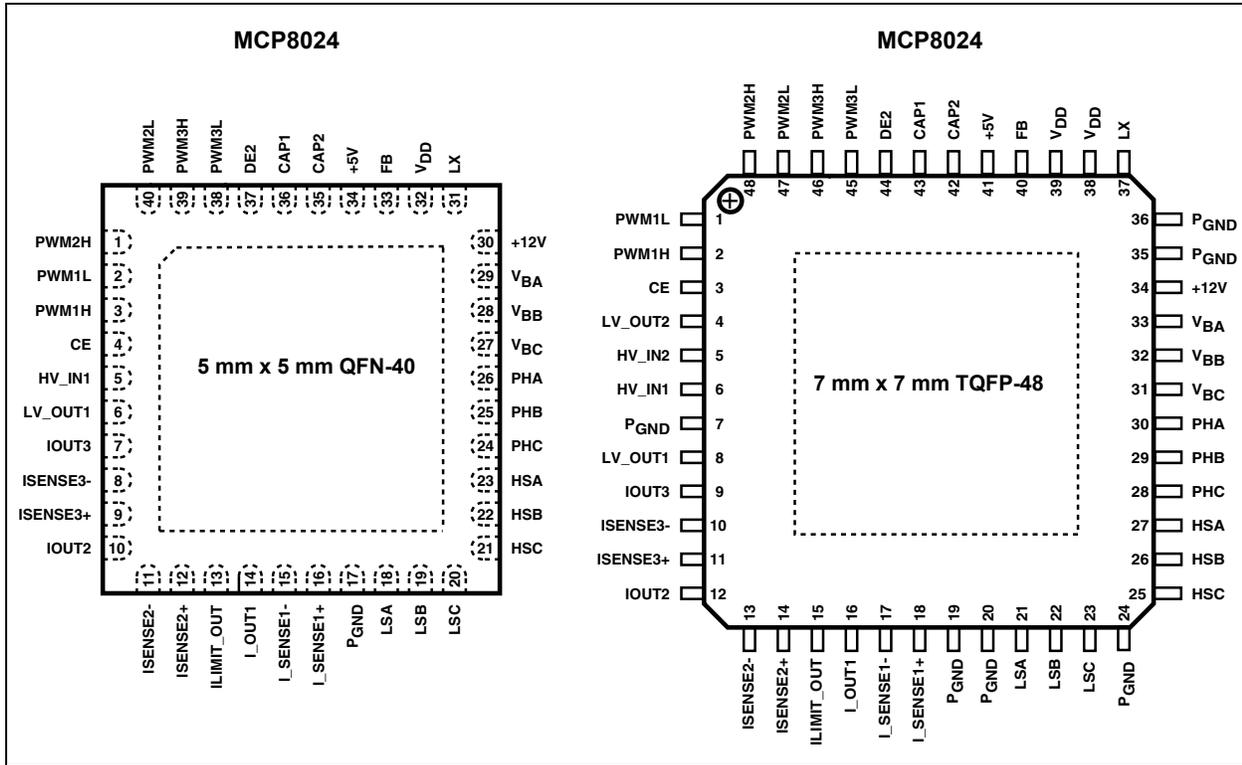
MCP8024 降压转换器可提供750 mW的功率为配套单片机供电。如果不使用降压稳压器，可禁止它。板上5V和12V低压差稳压器可提供20 mA的电流。

MCP8024的工作温度范围为-40°C至+150°C。

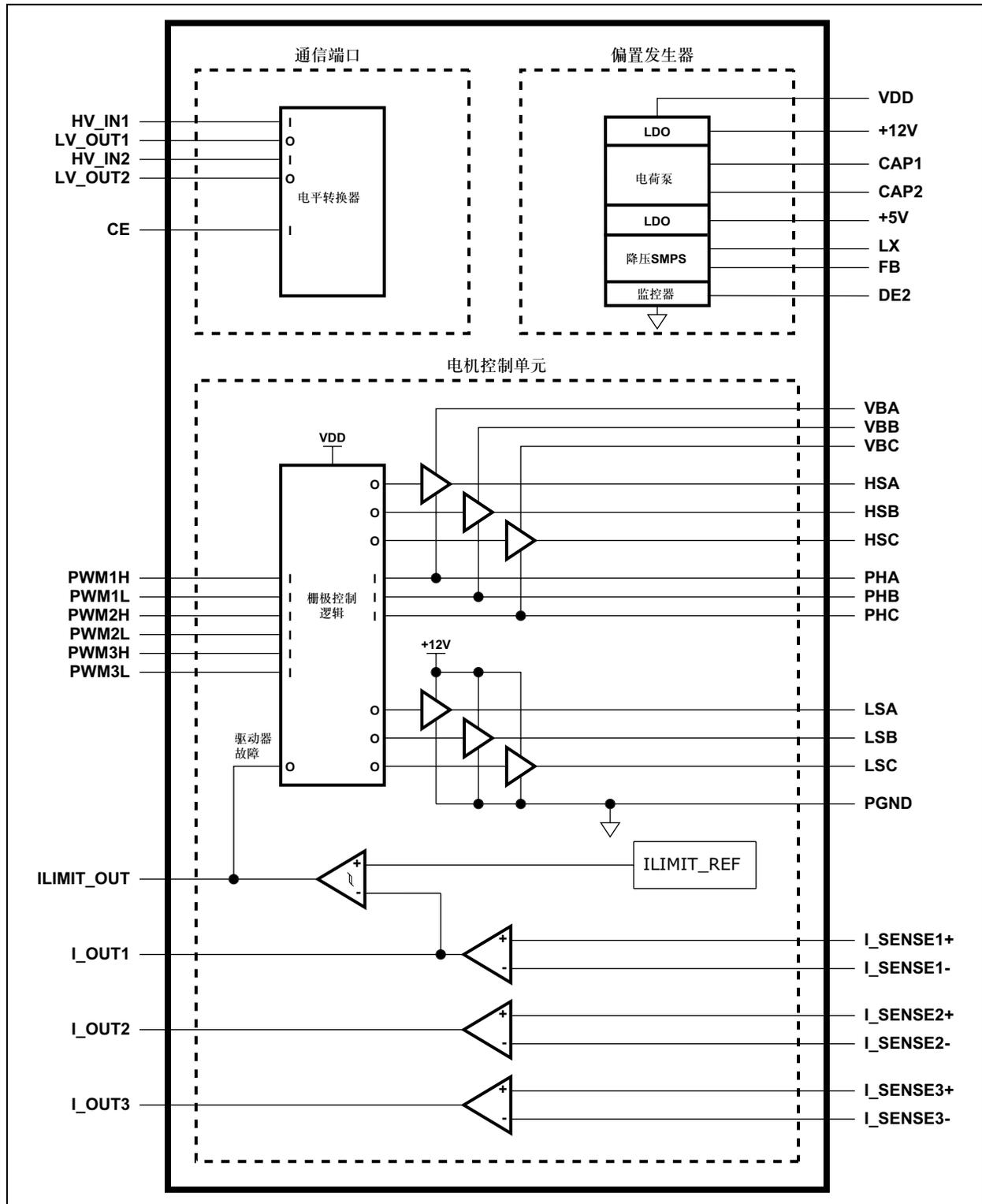
封装选项包括40引脚5x5 QFN和48引脚7x7 TQFP。

# MCP8024

## 封装类型

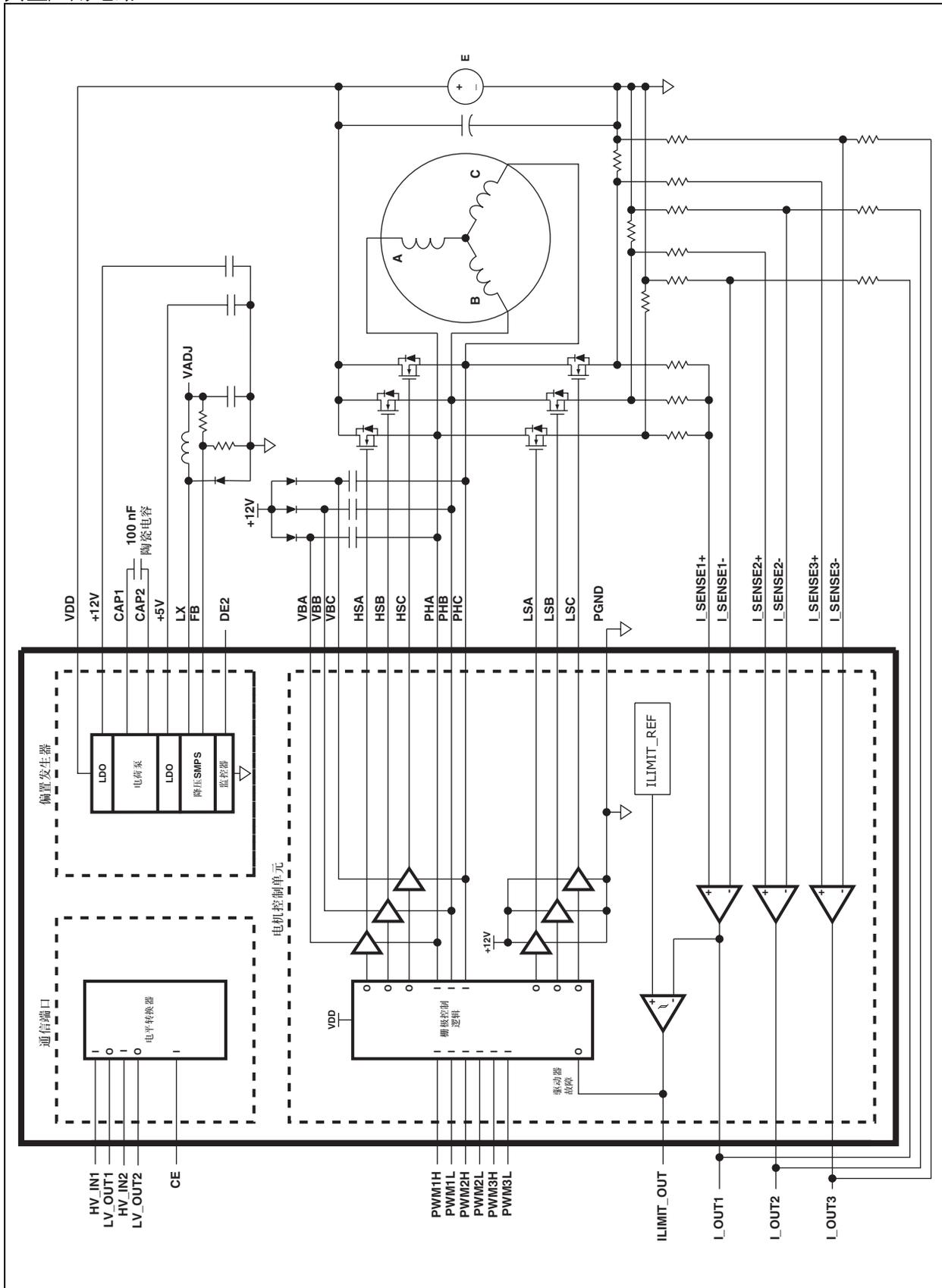


功能框图



# MCP8024

## 典型应用电路



## 1.0 电气特性

### 绝对最大值 †

输入电压, $V_{DD}$ .....	+46.0V
输入电压, < 100 ms瞬态电压 .....	+48.0V
内部功耗 .....	内部限制
环境工作温度范围 .....	-40°C至+150°C
工作结温 (注1) .....	-40°C至+160°C
瞬态结温* .....	+170°C
存储温度 (注1) .....	-55°C至+150°C
数字 I/O .....	-0.3V至5.5V
LV 模拟 I/O .....	-0.3V至5.5V

ESD 和门锁保护:

$V_{DD}$ , HV_IN1 引脚 .....	$\geq 12$ kV HMM 和 $\geq 750$ V CDM
所有其他引脚 .....	$\geq 4$ kV HBM 和 $\geq 750$ V CDM
门锁保护 (对于所有引脚) .....	$> 100$ mA

† 注: 如果器件工作条件超过上述“绝对最大值”, 可能引起器件永久性损坏。上述数值为工作条件最大值, 我们不建议器件工作在最大值或超过最大值的条件下。器件长时间工作在最大值条件下, 其可靠性可能受到影响。

\* 注: 瞬态结温持续时间不应超过一秒。结温持续超出 170°C 时, 可能影响器件可靠性。

### 交流/直流特性

电气规范: 除非另有说明, 否则  $T_J = -40^\circ\text{C}$  至  $+150^\circ\text{C}$ 。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
<b>电源输入</b>						
输入工作电压	$V_{DD}$	6.0 6.0	—	28.0 40	V	工作 关断
瞬态最大电压	$V_{DDmax}$	—	—	48	V	< 100 ms
输入静态电流	$I_Q$	— — — — —	— 171 197 200 200	— 220 — — 500	$\mu\text{A}$	$V_{DD} = 13\text{V}$ , 禁止, $CE = 0\text{V}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$ 禁止, $CE = 0\text{V}$ , $T_J = 85^\circ\text{C}$ 禁止, $CE = 0\text{V}$ , $T_J = 130^\circ\text{C}$ 禁止, $CE = 0\text{V}$ , $T_J = 150^\circ\text{C}$ 激活, $CE > V_{DIG\_HI\_TH}$
数字输入/输出	DIGITAL $I_{IO}$	0	—	5.5	V	
数字漏极开路驱动能力	DIGITAL $I_{OL}$	—	1	—	mA	$V_{DS} < 50$ mV
数字输入上升阈值	$V_{DIG\_HI\_TH}$	1.26	—	—	V	
数字输入下降阈值	$V_{DIG\_LO\_TH}$	—	—	0.54	V	
数字输入迟滞	$V_{DIG\_HYS}$	—	500	—	mV	
数字输入电流	$I_{DIG}$	— —	30 0.2	100 —	$\mu\text{A}$	$V_{DIG} = 3.0\text{V}$ $V_{DIG} = 0\text{V}$
模拟低电压输入	ANALOG $V_{IN}$	0	—	5.5	V	不包括高电压
模拟低电压输出	ANALOG $V_{OUT}$	0	—	$V_{OUT5}$	V	不包括高电压
<b>偏置发生器</b>						
<b>+12V 稳压电荷泵</b>						
电荷泵电流	$I_{CP}$	20	—	—	mA	$V_{DD} = 9.0\text{V}$
电荷泵电压	$V_{CP}$	+10	$2 \cdot V_{DD}$	—	V	$V_{DD} = 9.0\text{V}$ , $I_{CP} = 20$ mA
电荷泵启动	$CP_{START}$	11.0	11.5	—	V	$V_{DD}$ 下降

注 1: 最大允许功耗是环境温度、最高允许结温和结到空气热阻 (即,  $T_A$ 、 $T_J$  和  $\theta_{JA}$ ) 的函数。如果超出最大允许功耗, 可能导致器件工作结温超出最大额定值 160°C。如果结温持续高于 150°C, 可能影响器件的可靠性和 OTP 数据保持时间。

2: OTP 数据保持累积时长的最大值为 1000 小时 (典型值)。

# MCP8024

## 交流/直流特性 (续)

电气规范: 除非另有说明, 否则 $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+150^{\circ}\text{C}$ 。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
电荷泵停止	$CP_{\text{STOP}}$	—	12.0	12.5	V	$V_{\text{DD}}$ 上升
电荷泵频率 (50% 充电/50% 放电)	$CP_{\text{FSW}}$	— —	76.80 0	— —	kHz	$V_{\text{DD}} = 9.0\text{V}$ $V_{\text{DD}} = 12.5\text{V}$ (停止)
电荷泵开关电阻	$CP_{\text{RDSON}}$	—	14	—	$\Omega$	上桥臂和下桥臂 $R_{\text{DS(ON)}}$ 总和
输出电压	$V_{\text{OUT12}}$	10	12	—	V	$V_{\text{DD}} = V_{\text{OUT12}} + 1\text{V}$ , $I_{\text{OUT}} = 1\text{mA}$
输出电压容差	$ \text{TOL}_{V_{\text{OUT12}}} $	—	—	4.0	%	$V_{\text{DD}} = V_{\text{OUT12}} + 1\text{V}$ , $I_{\text{OUT}} = 1\text{mA}$
输出电流	$I_{\text{OUT}}$	20	—	—	mA	平均电流
输出电流限值	$I_{\text{LIMIT}}$	30	40	—	mA	平均电流
输出电压温度系数	$TCV_{\text{OUT12}}$	—	50	—	ppm/ $^{\circ}\text{C}$	
线路调整度	$ \Delta V_{\text{OUT}} / (V_{\text{OUT}} \times \Delta V_{\text{DD}}) $	—	0.1	0.5	%/V	$13\text{V} < V_{\text{DD}} < 19\text{V}$ , $I_{\text{OUT}} = 20\text{mA}$
负载调整度	$ \Delta V_{\text{OUT}} / V_{\text{OUT}} $	—	0.2	0.5	%	$I_{\text{OUT}} = 0.1\text{mA}$ 至 $15\text{mA}$
压差	$V_{\text{DD}} - V_{\text{OUT12}}$	—	380	—	mV	$I_{\text{OUT}} = 20\text{mA}$ , 输出电压从空载值下降2%时 进行测量
电源抑制比	PSRR	—	60	—	dB	$f = 1\text{kHz}$ , $I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$
<b>+5V 线性稳压器</b>						
输出电压	$V_{\text{OUT5}}$	—	5	—	V	$V_{\text{DD}} = V_{\text{OUT5}} + 1\text{V}$ , $I_{\text{OUT}} = 1\text{mA}$
输出电压容差	$ \text{TOL}_{V_{\text{OUT5}}} $	—	—	4.0	%	
输出电流	$I_{\text{OUT}}$	20	—	—	mA	平均电流
输出电流限值	$I_{\text{LIMIT}}$	30	40	—	mA	平均电流
输出电压温度系数	$ \text{TCV}_{\text{OUT5}} $	—	50	—	ppm/ $^{\circ}\text{C}$	
线路调整度	$ \Delta V_{\text{OUT}} / (V_{\text{OUT}} \times \Delta V_{\text{DD}}) $	—	0.1	0.5	%/V	$6\text{V} < V_{\text{DD}} < 19\text{V}$ , $I_{\text{OUT}} = 20\text{mA}$
负载调整度	$ \Delta V_{\text{OUT}} / V_{\text{OUT}} $	—	0.2	0.5	%	$I_{\text{OUT}} = 0.1\text{mA}$ 至 $15\text{mA}$
压差	$V_{\text{DD}} - V_{\text{OUT5}}$	—	180	350	mV	$I_{\text{OUT}} = 20\text{mA}$ , 输出电压从空载值下降2%时 进行测量
电源抑制比	PSRR	—	60	—	dB	$f = 1\text{kHz}$ , $I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$
<b>降压稳压器</b>						
反馈电压	$V_{\text{FB}}$	1.19	1.25	1.31	V	
反馈电压容差	$ \text{TOL}_{V_{\text{FB}}} $	—	—	5.0	%	$I_{\text{FB}} = 1\mu\text{A}$

**注 1:** 最大允许功耗是环境温度、最高允许结温和结到空气热阻 (即,  $T_A$ 、 $T_J$  和  $\theta_{JA}$ ) 的函数。如果超出最大允许功耗, 可能导致器件工作结温超出最大额定值 $160^{\circ}\text{C}$ 。如果结温持续高于 $150^{\circ}\text{C}$ , 可能影响器件的可靠性和OTP数据保持时间。

**2:** OTP数据保持累积时长的最大值为1000小时 (典型值)。

## 交流/直流特性 (续)

电气规范: 除非另有说明, 否则 $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+150^{\circ}\text{C}$ 。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
反馈电压线路调整度	$ \Delta V_{FB}/V_{FB}  / \Delta V_{DD}$	—	0.1	0.5	%/V	$V_{DD} = 6\text{V}$ 至 $28\text{V}$
反馈电压负载调整度	$ \Delta V_{FB}/V_{FB} $	—	0.1	0.5	%	$I_{OUT} = 5\text{mA}$ 至 $150\text{mA}$
反馈输入偏置电流	$I_{FB}$	-100	—	+100	nA	灌/拉
开关频率	$f_{SW}$	—	461	—	kHz	
占空比范围	$DC_{MAX}$	3	—	96	%	
PMOS 开关导通电阻	$R_{DSON}$	—	0.6	—	$\Omega$	$V_{DD} = 13\text{V}$ , $T_J = 25^{\circ}\text{C}$
PMOS 开关电流限值	$I_{P(MAX)}$	—	2.5	—	A	
接地电流——PWM 模式	$I_{GND}$	—	1.5	2.5	mA	开关
静态电流——PFM 模式	$I_Q$	—	150	200	$\mu\text{A}$	$I_{OUT} = 0\text{mA}$
输出电压调节范围	$V_{OUT}$	2.0	—	5.0	V	
输出电流	$I_{OUT}$	150	—	—	mA	5V
		250	—	—		3V
输出功率	$P_{OUT}$	—	750	—	mW	$P = I_{OUT} * V_{OUT}$
<b>电压监控器</b>						
欠压锁定启动	$UVLO_{STRT}$	—	6.0	6.25	V	$V_{DD}$ 上升
欠压锁定停止	$UVLO_{STOP}$	5.1	5.5	—	V	$V_{DD}$ 下降
欠压锁定迟滞	$UVLO_{HYS}$	0.35	0.5	0.65	V	
禁止过压锁定所有功能	$OVLO_{STOP}$	—	32.0	33.0	V	$V_{DD}$ 上升
使能过压锁定所有功能	$OVLO_{STRT}$	29.0	30.0	—	V	$V_{DD}$ 下降
过压锁定迟滞	$OVLO_{HYS}$	1.0	2.0	3.0	V	
<b>温度监控器</b>						
热警告温度 (115°C)	$T_{WARN}$	—	72	—	%	温度上升, 热关断温度“MIN”的百分比
热警告迟滞	$\Delta T_{WARN}$	—	15	—	$^{\circ}\text{C}$	温度下降
热关断温度	$T_{SD}$	160	170	—	$^{\circ}\text{C}$	温度上升
热关断迟滞	$\Delta T_{SD}$	—	25	—	$^{\circ}\text{C}$	温度下降
<b>电机控制单元</b>						
<b>输出驱动器</b>						
PWMH/L 输入下拉	$R_{PULLDN}$	32	47	62	k $\Omega$	

注 1: 最大允许功耗是环境温度、最高允许结温和结到空气热阻 (即,  $T_A$ 、 $T_J$ 和 $\theta_{JA}$ ) 的函数。如果超出最大允许功耗, 可能导致器件工作结温超出最大额定值 $160^{\circ}\text{C}$ 。如果结温持续高于 $150^{\circ}\text{C}$ , 可能影响器件的可靠性和OTP数据保持时间。

2: OTP数据保持累积时长的最大值为1000小时 (典型值)。

# MCP8024

## 交流/直流特性（续）

电气规范：除非另有说明，否则 $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+150^{\circ}\text{C}$ 。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
输出驱动器拉电流	$I_{\text{SOURCE}}$	0.3	—	—	A	$V_{\text{DD}} = 12\text{V}$ , H[A:C], L[A:C]
输出驱动器灌电流	$I_{\text{SINK}}$	0.3	—	—	A	$V_{\text{DD}} = 12\text{V}$ , H[A:C], L[A:C]
输出驱动器拉电阻	$R_{\text{DSON}}$	—	17	—	$\Omega$	$I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$ , $V_{\text{DD}} = 12\text{V}$ , H[A:C], L[A:C]
输出驱动器灌电阻	$R_{\text{DSON}}$	—	17	—	$\Omega$	$I_{\text{OUT}} = 10\text{mA}$ , $V_{\text{DD}} = 12\text{V}$ , H[A:C], L[A:C]
输出驱动器UVLO阈值	$D_{\text{UVLO}}$	7.2	8.0	—	V	
输出驱动器自举电压（相对于地）	$V_{\text{BOOTSTRAP}}$	—	—	44 48	V	连续 < 100 ms
输出驱动器HS驱动电压	$V_{\text{HS}}$	8.0 -5.5	12 —	13.5 —	V	相对于相位引脚 相对于地
输出驱动器LS驱动电压	$V_{\text{LS}}$	8.0	12	13.5	V	相对于地
输出驱动器相位引脚电压	$V_{\text{PHASE}}$	-5.5V	—	34	V	相对于地
输出驱动器短路保护阈值	$D_{\text{SC}}$	—	— 0.250 0.500 0.750 1.000	— — — —	V	通过DE2 CONFIG[1:0]字设置 00——默认值 01 10 11
输出驱动器短路检测传播延时	$D_{\text{SC\_DEL}}$	—	— 430 10 —	— — — —	ns	$C_{\text{LOAD}} = 1000\text{pF}$ , $V_{\text{DD}} = 12\text{V}$ , 消隐后检测 消隐期间检测，值为消隐后的 延时
输出驱动器关断传播延时	$T_{\text{DEL\_OFF}}$	—	100	250	ns	$C_{\text{LOAD}} = 1000\text{pF}$ , $V_{\text{DD}} = 12\text{V}$
输出驱动器导通传播延时	$T_{\text{DEL\_ON}}$	—	100	250	ns	$C_{\text{LOAD}} = 1000\text{pF}$ , $V_{\text{DD}} = 12\text{V}$
待机到电机工作 ( $C_{\text{LOAD}} = 10\text{ }\mu\text{F}$ )	$t_{\text{MOTOR}}$	—	10	50	$\mu\text{s}$	CE高-低-高转换 < 100 $\mu\text{s}$ (故障清除)
CE低电平到待机状态	$t_{\text{STANDBY}}$	—	10	—	$\mu\text{s}$	待机状态到工作状态
CE故障清除脉冲	$t_{\text{FAULT\_CLR}}$	1	—	—	$\mu\text{s}$	CE = 0V后的时间 CE高-低-高转换时间
<b>电流检测放大器</b>						
输入失调电压	$V_{\text{OS}}$	-3.0	—	+3.0	mV	$V_{\text{CM}} = 0\text{V}$ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+150^{\circ}\text{C}$
输入失调温度漂移	$\Delta V_{\text{OS}}/\Delta T_A$	—	$\pm 2.0$	—	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	$V_{\text{CM}} = 0\text{V}$
输入偏置电流	$I_{\text{B}}$	-1	—	+1	$\mu\text{A}$	
共模输入范围	$V_{\text{CMR}}$	-0.3	—	3.5	V	

**注 1：** 最大允许功耗是环境温度、最高允许结温和结到空气热阻（即， $T_A$ 、 $T_J$ 和 $\theta_{\text{JA}}$ ）的函数。如果超出最大允许功耗，可能导致器件工作结温超出最大额定值 $160^{\circ}\text{C}$ 。如果结温持续高于 $150^{\circ}\text{C}$ ，可能影响器件的可靠性和OTP数据保持时间。

**2：** OTP数据保持累积时长的最大值为1000小时（典型值）。

## 交流/直流特性 (续)

电气规范: 除非另有说明, 否则 $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 至 $+150^{\circ}\text{C}$ 。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
共模抑制比	CMRR	65	80	—	dB	频率 = 1 kHz, $I_{\text{OUT}} = 10 \mu\text{A}$
最大输出电压摆幅	$V_{\text{OL}}, V_{\text{OH}}$	0.05	—	4.5	V	$I_{\text{OUT}} = 200 \mu\text{A}$
压摆率	SR	—	$\pm 7$	—	V/ $\mu\text{s}$	对称
增益带宽积	GBWP	—	10.0	—	MHz	
电流比较器迟滞	$CC_{\text{HYS}}$	—	10	—	mV	
电流比较器共模输入范围	$V_{\text{CC\_CMR}}$	1.0	—	4.5	V	
<b>限流 DAC</b>						
分辨率		—	8	—	位	
输出电压范围	$V_{\text{OL}}, V_{\text{OH}}$	0.991	—	4.503	V	$I_{\text{OUT}} = 1 \text{ mA}$
输出电压	$V_{\text{DAC}}$	—	—	—	V	代码 * 13.77 mV/位 + 0.991V 代码 00H 代码 40H 代码 FFH
输入到输出延迟	$T_{\text{DELAY}}$	—	50	—	$\mu\text{s}$	100 kHz 滤波器的 5 个时间常量
积分非线性度	INL	-0.5	—	+0.5	%FSR	%满量程
微分非线性度	DNL	-50	—	+50	%LSB	%LSB
ILIMIT_OUT 灌电流 (漏极开路)	$I_{\text{LIMIT\_OUT}}$	—	1	—	mA	$V_{\text{LIMIT\_OUT}} \leq 50 \text{ mV}$
<b>电压电平转换器</b>						
高电压输入范围	$V_{\text{IN}}$	0	—	VDD	V	
低电压输出范围	$V_{\text{OUT}}$	0	—	5.0V	V	
输入上拉电阻	RPU	20	30	47	k $\Omega$	
高输入电压	$V_{\text{IH}}$	0.60	—	—	$V_{\text{DD}}$	$V_{\text{DD}} = 15\text{V}$
低输入电压	$V_{\text{IL}}$	—	—	0.40	$V_{\text{DD}}$	$V_{\text{DD}} = 15\text{V}$
输入迟滞	$V_{\text{HYS}}$	—	—	0.30	$V_{\text{DD}}$	
传播延时	TLV_OUT	—	3.0	6.0	$\mu\text{s}$	
最大通信频率	FMAX	—	—	20	kHz	
低电压输出灌电流 (漏极开路)	IOL	—	1	—	mA	$V_{\text{OUT}} \leq 50 \text{ mV}$
<b>OTP 数据保持</b>						
OTP 单元高温使用寿命	HTOL	—	1000	—	小时	$T_J = 150^{\circ}\text{C}$ (注2)
OTP 单元使用寿命		—	10	—	年	$T_J = 85^{\circ}\text{C}$

注 1: 最大允许功耗是环境温度、最高允许结温和结到空气热阻 (即,  $T_A$ 、 $T_J$  和  $\theta_{\text{JA}}$ ) 的函数。如果超出最大允许功耗, 可能导致器件工作结温超出最大额定值  $160^{\circ}\text{C}$ 。如果结温持续高于  $150^{\circ}\text{C}$ , 可能影响器件的可靠性和 OTP 数据保持时间。

2: OTP 数据保持累积时长的最大值为 1000 小时 (典型值)。

# MCP8024

## 温度规范

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
<b>温度范围 (注1)</b>						
规定温度范围	$T_A$	-40		+150	°C	
工作温度范围	$T_A$	-40		+150	°C	
存储温度范围	$T_A$	-55		+150	°C	(注2)
<b>封装热阻</b>						
5 mm x 5 mm QFN-40	$\theta_{JA}$ $\theta_{JC}$	— —	34 5.2	— —	°C/W	4层JC51-7标准板, 自然对流
7 mm x 7 mm TQFP-48-EP	$\theta_{JA}$ $\theta_{JC}$	— —	30 15	— —	°C/W	

注 1: 最大允许功耗是环境温度、最高允许结温和结到空气热阻 (即,  $T_A$ 、 $T_J$ 和 $\theta_{JA}$ ) 的函数。如果超出最大允许功耗, 可能导致器件工作结温超出最大额定值 150°C。如果结温持续高于 150°C, 可能影响器件的可靠性。

2: OTP数据保持累积时长的最大值为 1000 小时 (典型值)。

## ESD、敏感性、浪涌和闩锁测试

参数	标准和测试条件	值
输入电压浪涌	ISO 16750-2	28V (1分钟), 45V (0.5秒)
ESD HBM, 1.5 k $\Omega$ /100 pF	ESD-STM5.1-2001 JESD22-A114E 2007 CEI/IEC 60749-26:2006 AEC-Q100-002-Ref_D	$\pm 4$ kV
ESD CDM (带电器件模型, 电场感应方法——替代机器模型方法)	ESD-STM5.3.1-1999	$\pm 750$ V 所有引脚
闩锁敏感性	AEC Q100-004, 150°C	>100 mA

## 2.0 典型性能曲线

**注：** 以下图表为基于有限数量样本所做的统计，仅供参考。所列特性未经测试，不做任何担保。一些图表中列出的数据可能超出规定的工作范围（例如，超出了规定的电源范围），因此不在担保范围内。

**注：** 除非另外说明，否则  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ；结温 ( $T_J$ ) 是通过将待测器件放置在等于所需结温的环境温度中近似得出的温度。测试时间足够短，从而可忽略结温较环境温度略有上升的因素。

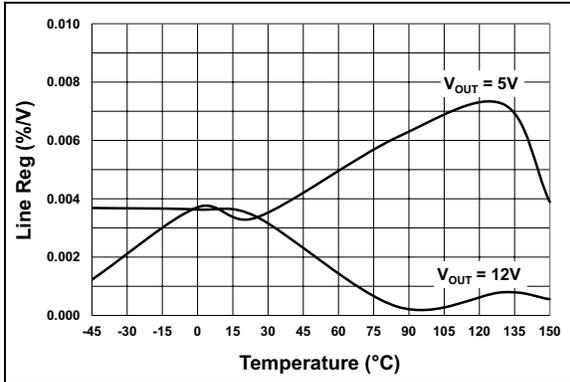


图2-1: LDO 线路调整度-温度曲线

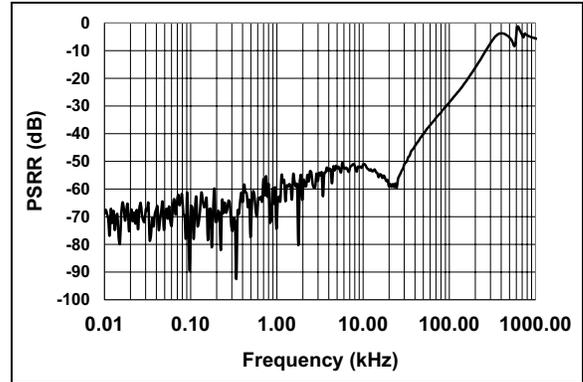


图2-4: 12V LDO 电源纹波抑制-频率曲线

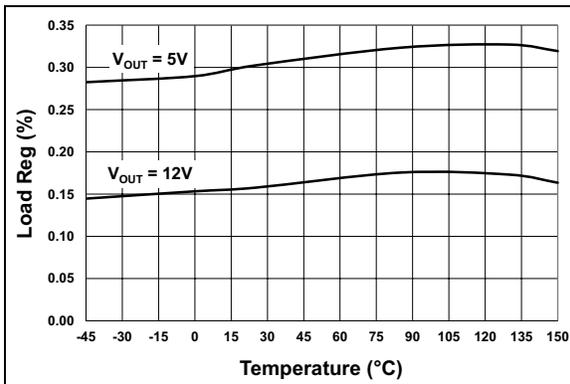


图2-2: LDO 负载调整度-温度曲线

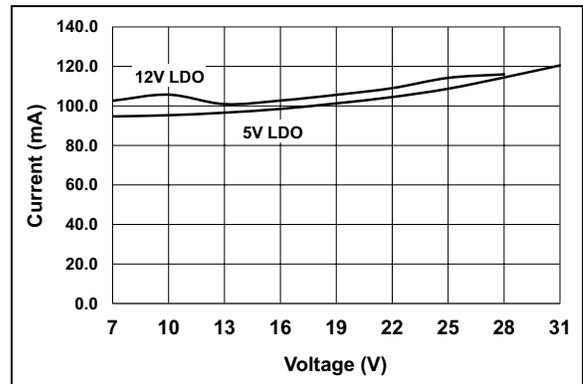


图2-5: LDO 短路电流-输入电压曲线

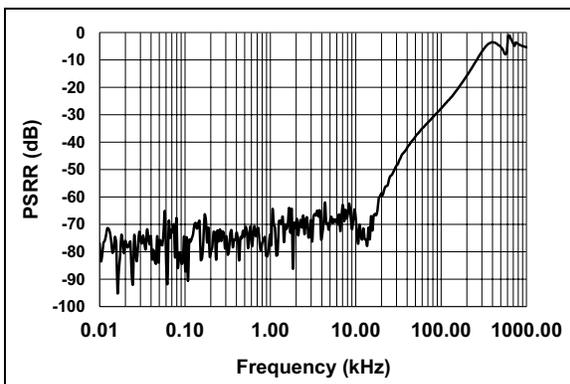


图2-3: 5V LDO 电源纹波抑制-频率曲线

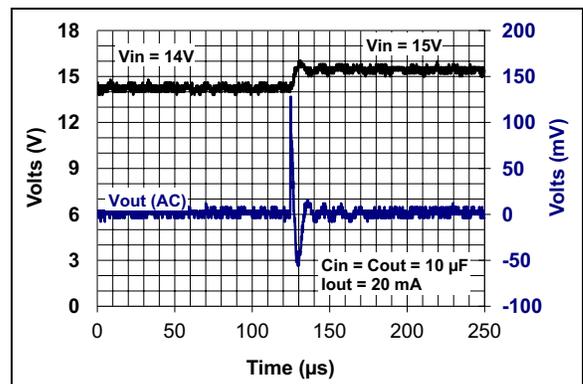


图2-6: 5V LDO 动态线路阶跃-上升  $V_{DD}$  曲线

# MCP8024

注：除非另外说明，否则  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ；结温 ( $T_J$ ) 是通过将待测器件放置在等于所需结温的环境温度中近似得出的温度。测试时间足够短，从而可忽略结温较环境温度略有上升的因素。

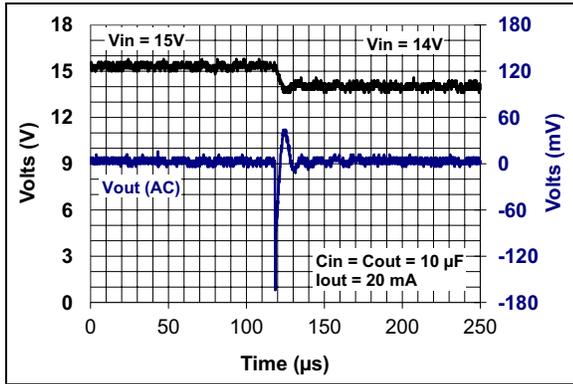


图2-7: 5V LDO 动态线路阶跃—下降 $V_{DD}$ 曲线

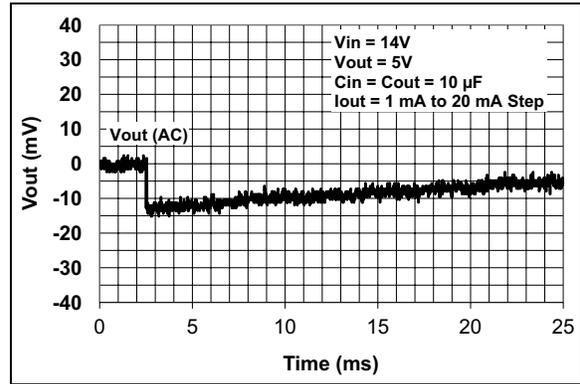


图2-10: 5V LDO 动态线路阶跃—负载电流曲线

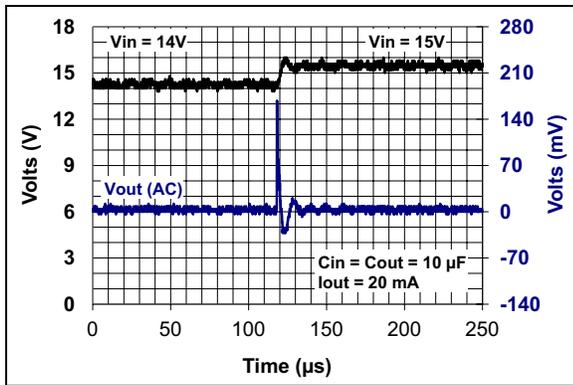


图2-8: 12V LDO 动态线路阶跃—上升 $V_{DD}$ 曲线

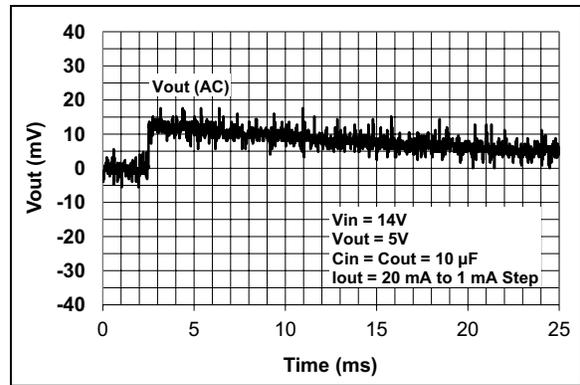


图2-11: 5V LDO 动态负载阶跃—下降电流曲线

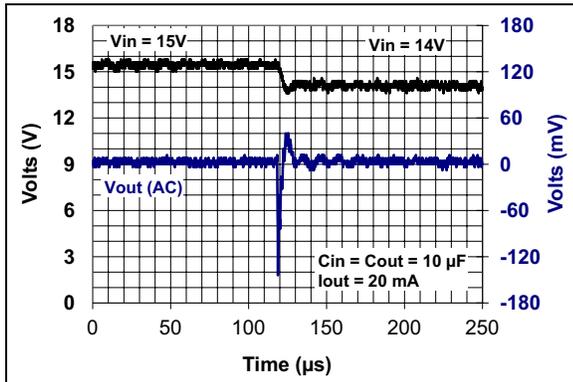


图2-9: 12V LDO 动态线路阶跃—下降 $V_{DD}$ 曲线

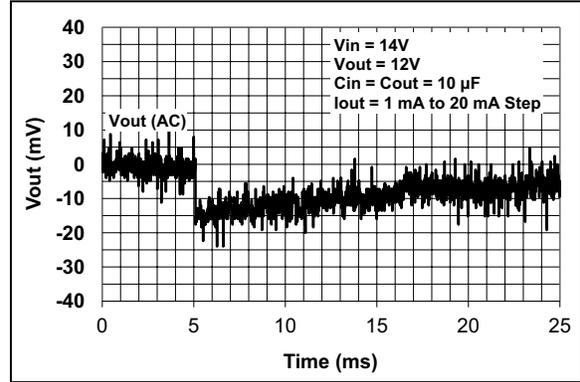


图2-12: 12V LDO 动态负载阶跃—上升电流曲线

注：除非另外说明，否则  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ；结温 ( $T_J$ ) 是通过将待测器件放置在等于所需结温的环境温度中近似得出的温度。测试时间足够短，从而可忽略结温较环境温度略有上升的因素。

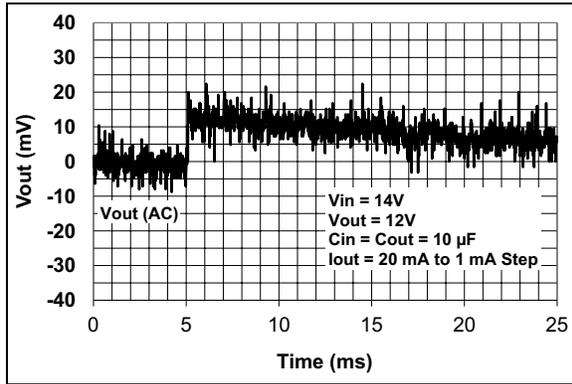


图2-13: 12V LDO 动态负载阶跃一下降电流曲线

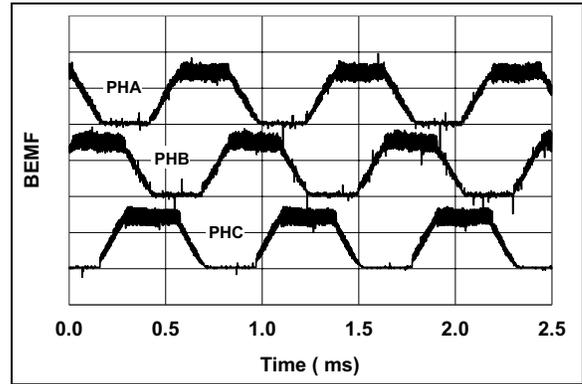


图2-16: 梯形反电动势

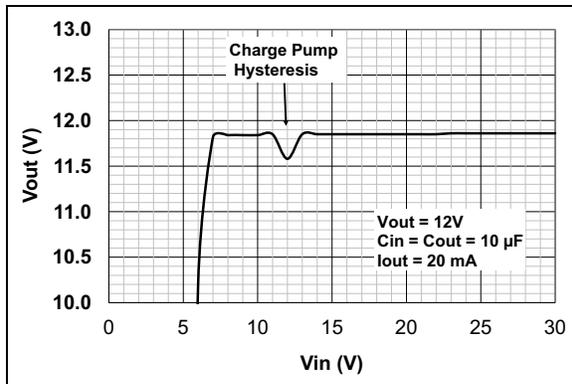


图2-14: 12V LDO 输出电压—上升输出电压曲线

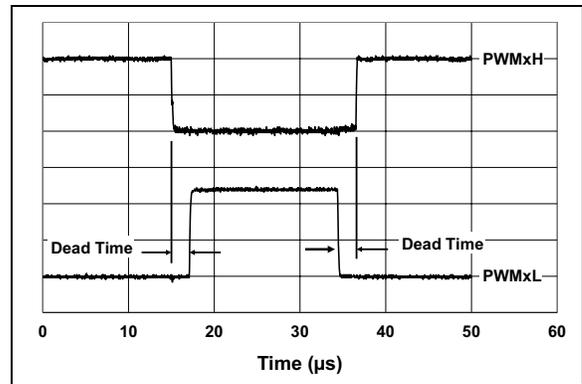


图2-17: PWM 死区

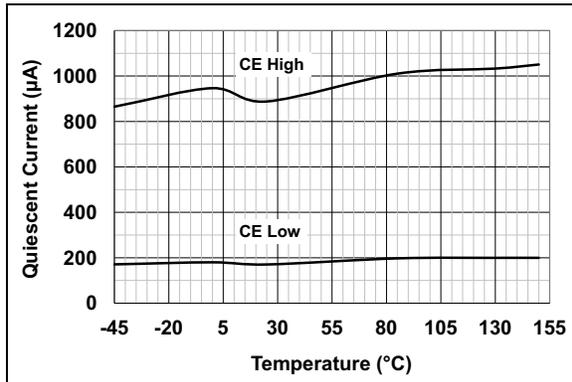


图2-15: 静态电流—温度曲线

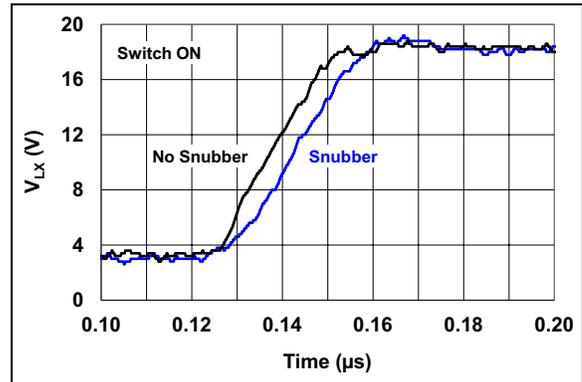


图2-18: 降压缓冲导通

# MCP8024

注：除非另外说明，否则  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ；结温 ( $T_J$ ) 是通过将待测器件放置在等于所需结温的环境温度中近似得出的温度。测试时间足够短，从而可忽略结温较环境温度略有上升的因素。

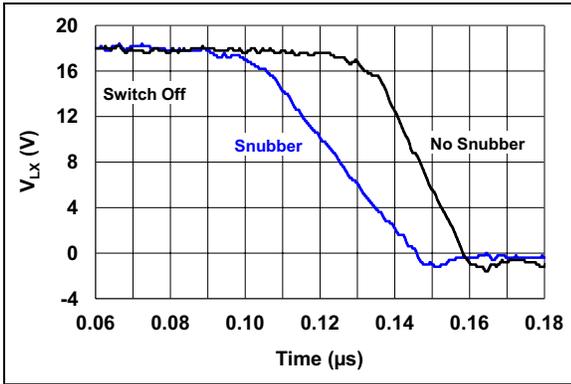


图2-19： 降压缓冲关断

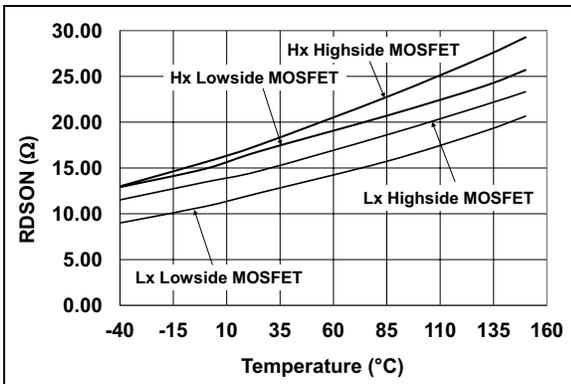


图2-20： 栅极驱动器  $R_{DS(on)}$  - 温度曲线

### 3.0 引脚说明

#### 3.1 功能引脚说明

引脚编号 QFN	引脚编号 TQFP	符号	I/O	说明
1	48	PWM2H	I	数字输入, B相上桥臂控制, 47K下拉电阻
2	1	PWM1L	I	数字输入, A相下桥臂控制, 47K下拉电阻
3	2	PWM1H	I	数字输入, A相上桥臂控制, 47K下拉电阻
4	3	CE	I	数字输入, 器件使能, 47K下拉电阻
-	4	LV_OUT2	O	数字逻辑电平转换输出接口, 漏极开路
-	5	HV_IN2	I	高压输入接口, 通过配置寄存器0的bit 6设置的30K上拉电阻
5	6	HV_IN1	I	高压输入接口, 通过配置寄存器0的bit 6设置的30K上拉电阻
-	7	PGND	电源	电源0V参考
6	8	LV_OUT1	O	数字逻辑电平转换输出接口, 漏极开路
7	9	I_OUT3	O	电机相电流检测放大器输出
8	10	ISENSE3-	I	电机相电流检测放大器反相输入
9	11	ISENSE3+	I	电机相电流检测放大器同相输入
10	12	I_OUT2	O	电机相电流检测放大器输出
11	13	ISENSE2-	I	电机相电流检测放大器反相输入
12	14	ISENSE2+	I	电机相电流检测放大器同相输入
13	15	/LIMIT_OUT	O	限流比较器, MOSFET驱动器故障输出, 漏极开路
14	16	I_OUT1	O	电机电流检测放大器输出
15	17	ISENSE1-	I	电机电流检测放大器反相输入
16	18	ISENSE1+	I	电机电流检测放大器同相输入
17	19, 20	PGND	电源	电源0V参考
18	21	LA	O	A相下桥臂N沟道MOSFET驱动器, 高电平有效
19	22	LB	O	B相下桥臂N沟道MOSFET驱动器, 高电平有效
20	23	LC	O	C相下桥臂N沟道MOSFET驱动器, 高电平有效
-	24	PGND	电源	电源0V参考
21	25	HC	O	C相上桥臂N沟道MOSFET驱动器, 高电平有效
22	26	HB	O	B相上桥臂N沟道MOSFET驱动器, 高电平有效
23	27	HA	O	A相上桥臂N沟道MOSFET驱动器, 高电平有效
24	28	PHC	I/O	C相上桥臂MOSFET驱动器参考, 反电动势检测输入
25	29	PHB	I/O	B相上桥臂MOSFET驱动器参考, 反电动势检测输入
26	30	PHA	I/O	A相上桥臂MOSFET驱动器参考, 反电动势检测输入
27	31	VBC	电源	C相上桥臂MOSFET驱动器偏置
28	32	VBB	电源	B相上桥臂MOSFET驱动器偏置
29	33	VBA	电源	A相上桥臂MOSFET驱动器偏置
30	34	+12V	电源	模拟电路和下桥臂栅极驱动偏置
-	35, 36	PGND	电源	电源0V参考
31	37	LX	电源	降压稳压器开关节点, 外部电感连接
32	38, 39	VDD	电源	输入电源
33	40	FB	I	降压稳压器反馈节点
34	41	+5V	电源	内部电路偏置
35	42	CAP2	电源	电荷泵飞跨电容输入
36	43	CAP1	电源	电荷泵飞跨电容输入
37	44	DE2	O	电压和温度监控器输出, 漏极开路
38	45	PWM3L	I	数字输入, C相下桥臂控制, 47K下拉电阻
39	46	PWM3H	I	数字输入, C相上桥臂控制, 47K下拉电阻
40	47	PWM2L	I	数字输入, B相下桥臂控制, 47K下拉电阻
EP	EP	PGND	电源	外露焊盘, 连接到电源0V参考

# MCP8024

## 3.2 V<sub>DD</sub>

将V<sub>DD</sub>连接到主电源电压。此电压不能超出器件的最大工作电压限值。靠近此引脚连接一个大电容，以获得良好的负载阶跃性能和提供瞬态保护。

可使用陶瓷电容、钽质电容或铝电解电容。由于陶瓷电容具有低ESR特性，因此在高频率下的噪声更低且PSRR性能更佳。

## 3.3 PGND，外露焊盘（EP）

器件地。PCB地走线应尽量短而宽，并与电源形成星型模式。外露焊盘（Exposed Pad, EP）PCB区域应为带有导热孔的覆铜区，有助于器件散热。

## 3.4 +12V

+12V低压差（LDO）稳压器输出。+12V LDO可用于为外部设备（例如，霍尔效应传感器或放大器）供电。LDO需要输出电容以实现稳定性。输出电容的正极在物理上应根据实际情况尽量靠近+12V引脚。对于大多数应用，4.7 μF电容可确保LDO电路稳定工作。

可使用陶瓷电容、钽质电容或铝电解电容。由于陶瓷电容具有低ESR特性，因此在高频率下的噪声更低且PSRR性能更佳。

## 3.5 +5V

+5V低压差（LDO）稳压器输出。+5V LDO可用于为外部设备（例如，霍尔效应传感器或放大器）供电。LDO需要输出电容以实现稳定性。输出电容的正极在物理上应根据实际情况尽量靠近+5V引脚。对于大多数应用，4.7 μF电容可确保LDO电路稳定工作。

可使用陶瓷电容、钽质电容或铝电解电容。由于陶瓷电容具有低ESR特性，因此在高频率下的噪声更低且PSRR性能更佳。

## 3.6 LX

降压稳压器开关节点外部电感连接。将此引脚连接到为降压稳压器选择的外部电感。

## 3.7 FB

与内部1.25V参考电压相比的降压稳压器反馈节点。将此引脚连接到用于设置降压稳压器输出电压的电阻分压器。将此引脚连接到+5V LDO输出将禁止降压稳压器。

## 3.8 CAP1和CAP2

电荷泵飞跨电容输入。将电荷泵电容跨接在这两个引脚之间。

## 3.9 CE

用于使能/禁止输出驱动器和板上功能的芯片使能输入。CE为高电平时，将使能所有器件功能。CE为低电平时，器件在精简模式下工作。在该模式下将禁止H桥、电流放大器和12V LDO。降压稳压器、5V LDO、DE2、电压和温度传感器功能则不受影响。

CE也用于清除硬件故障。故障发生时，可使用CE输入来清除故障，方法是先将该引脚先设置为低电平再设置为高电平。如果不存在硬件故障，则通过CE信号的上升沿来清除故障。

CE引脚具有47K的内部下拉电阻。

## 3.10 I<sub>OUT1</sub>、I<sub>OUT2</sub>和I<sub>OUT3</sub>

电流检测放大器输出。可与反馈电阻配合使用来设置电流检测增益。

## 3.11 ISENSE1、ISENSE2和ISENSE3 +/-

电流检测放大器反相和同相输入。与I<sub>OUTx</sub>引脚配合使用来设置电流检测增益。

## 3.12 /ILIMIT\_OUT

限流输出信号。当电流检测放大器1检测到的电流超过内部电流参考DAC设置的值时，漏极开路输出变为低电平。DAC具有0.991V的偏移（典型值），该偏移值代表零电流。当电机发生故障时，漏极开路输出也将变为低电平。

## 3.13 PWM1H、PWM2H和PWM3H

用于控制上桥臂驱动器的数字PWM输入。每个输入都有一个接地的47K下拉电阻。PWM信号可能包含死区时序，或者系统可能使用配置寄存器2来设置死区。

## 3.14 PWM1L、PWM2L和PWM3L

用于控制下桥臂驱动器的数字PWM输入。每个输入都有一个接地的47K下拉电阻。PWM信号可能包含死区时序，或者系统可能使用配置寄存器2来设置死区。

### 3.15 LA、LB和LC

下桥臂N沟道MOSFET驱动信号。连接到外部MOSFET的栅极。可在这些引脚和MOSFET栅极之间使用低阻抗电阻来限制电流和压摆率。

### 3.16 HA、HB和HC

上桥臂N沟道MOSFET驱动信号。连接到外部MOSFET的栅极。可在这些引脚和MOSFET栅极之间使用低阻抗电阻来限制电流和压摆率。

### 3.17 PHA、PHB和PHC

来自电机的相位信号。提供上桥臂N沟道MOSFET驱动器参考和反电动势检测输入。相位信号还可以与自举电容配合使用，通过VBx输入提供上桥臂栅极驱动。

### 3.18 VBA、VBB和VBC

上桥臂MOSFET驱动器偏置。将这些引脚连接到自举电荷泵二极管阴极和自举电荷泵电容之间的位置。12V LDO输出用于提供二极管阳极上的12V电压。相位信号连接到自举电荷泵电容的另一侧。

### 3.19 DE2

漏极开路通信节点。DE2通信是半双工9600波特、8位、无奇偶校验的通信链路。漏极开路DE2引脚必须通过外部上拉电阻拉为高电平。

### 3.20 HV\_IN1、HV\_IN2、LV\_OUT1和LV\_OUT2

单向数字电平转换器。将HV\_INx引脚上的数字输入信号转换为LV\_OUTx引脚的低电平数字输出信号。HV\_INx引脚具有连接到V<sub>DD</sub>的30 K $\Omega$ 内部上拉电阻，该电阻由配置寄存器0的bit 6控制。仅在CE = 0期间会对配置寄存器0的bit 6进行采样。与HV\_IN2引脚相比，HV\_IN1引脚具有更好的ESD保护。由于HV\_IN1引脚的ESD保护更佳，因而更适合连接到外部开关。

LV\_OUT1和LV\_OUT2是漏极开路输出。需要将外部上拉电阻连接到低电压逻辑电源。

# MCP8024

## 4.0 详细说明

### 4.1 偏置发生器

内部偏置发生器控制三个电压轨。通过该偏置发生器控制两个输出固定的低压差线性稳压器、一个可调降压开关电源转换器和一个未稳压的电荷泵。此外，偏置发生器还执行监控功能。

#### 4.1.1 +12V 低压差线性稳压器 (LDO)

+12V 电压轨用于三相功率 MOSFET 桥的偏置。

该稳压器可提供 20 mA 的外部负载电流。稳压器的最小过流限值为 30 mA。

低压差稳压器需要在 VOUT 和 GND 之间连接一个输出电容，以稳定内部控制环。12V LDO 需要最小值为 4.7  $\mu\text{F}$  的陶瓷输出电容。

#### 4.1.2 +5V 低压差线性稳压器 (LDO)

+5V LDO 用于外部单片机、内部电流检测放大器和栅极控制逻辑的偏置。

+5V LDO 可提供 20 mA 的外部负载电流。稳压器的最小过流限值为 30 mA。如果需要额外的外部电流，应使用降压开关电源转换器。

5V LDO 需要最小值为 4.7  $\mu\text{F}$  的陶瓷输出电容。

#### 4.1.3 降压开关电源转换器 (SMPS)

SMPS 是一种高效、频率固定的降压直流 / 直流转换器。SMPS 为本地直流 / 直流转换提供所有有效功能，且具有瞬态响应速度快和调节精确的特点。

在降压功率级的正常工作期间，Q1 重复导通和关断，且导通和关断时间由控制电路进行控制。此开关操作将在 LX 节点产生一系列脉冲，这些脉冲通过 L/C 输出滤波器滤波后产生直流输出电压  $V_O$ 。图 4-1 给出了 SMPS 的功能框图。

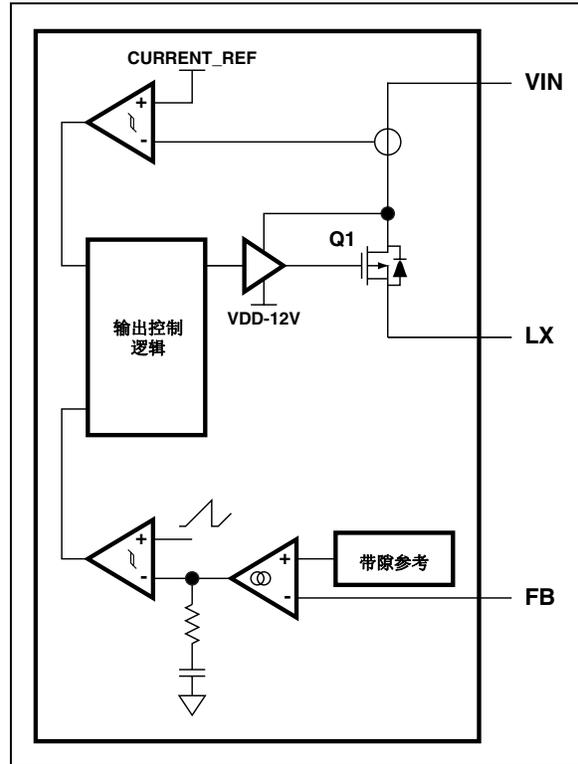


图 4-1: SMPS 功能框图

SMPS 设计为在不连续导通模式 (Discontinuous Conduction Mode, DCM) 下工作，且具有电压模式控制和电流限制保护。SMPS 在 460 kHz 固定开关频率和 6V 输入电压下，可向外部负载提供 5V 电压和 150 mA 电流。SMPS 的输出受功率限制。因此，对于 3V 编程输出电压，SMPS 可向外部负载提供 250 mA 电流。LX 引脚和地之间需要一个外部二极管。使用该二极管处理开关关断时的电感电流。将二极管布置在器件外部，以降低开关引起的衬底电流和功率耗散。外部二极管将承载开关关断期间的电流，以消除返回器件的电流路径。

轻负载时，SMPS 进入脉冲频率调制 (Pulse Frequency Modulation, PFM)，可使效率提高，但会导致更高的输出电压纹波。PFM 电路也提供禁止 SMPS 的方法。如果应用中未使用 SMPS，则将反馈引脚 (FB) 连接到外部 2.5V 至 5.0V 电源，可使 SMPS 强制进入关断状态。

在不连续导通模式下工作的最大电感值可由以下公式确定。

#### 公式 4-1: 简化的 $L_{MAX}$

$$L_{MAX} \leq \frac{V_O \times \left(1 - \frac{V_O}{V_{IN}}\right) \times T}{2 \times I_{O(CRIT)}}$$

使用通过公式 4-1 计算的  $L_{MAX}$  电感值将确保不连续导通模式下工作的输出负载电流低于临界电流  $I_{O(CRIT)}$ 。例如，输出电压为 +5V 时，4.7  $\mu$ H 的标准电感值将确保不连续导通模式下工作的输入电压为 6V、开关频率为 468 kHz 以及临界负载电流为 150 mA。

输出电压通过电阻分压网络进行设置。电阻分压器连接在电感输出和地之间。分压器公共点连接到 FB 引脚，然后 FB 引脚电压与内部 1.25V 参考电压进行比较。

当输入开关电流超出 2A 峰值（典型值）时，降压稳压器会将状态位置 1 并向主机发送状态消息。当峰值输入开关电流降至 2A（典型值）限值以下时，该位将清零。

当输出电压降至额定输出电压的 90% 以下时，降压稳压器会将状态位置 1 并向主机发送状态消息。当输出电压返回额定值的 94% 时，该位将清零。

如果降压稳压器输出电压降至额定输出电压的 80% 以下，系统将因“欠压错误”而关闭。这会将电源故障以及后续的配置丢失通知给主机。

电压监控器设计为在  $V_{DD}$  上升到超过  $OVLO_{STOP}$  时关闭降压稳压器。如果不希望关闭降压稳压器，用户应向  $V_{DD}$  输入添加电压抑制器件，以避免  $V_{DD}$  上升到  $OVLO_{STOP}$  以上。

电压监控器也设计为在  $V_{DD}$  下降到低于  $OVLO_{STOP}$  时关闭降压稳压器。

#### 4.1.4 电荷泵

在低电压输入的情况下，未稳压的电荷泵用于将输入升压至 +12V LDO。当器件的输入偏置 ( $V_{DD}$ ) 降至  $CP_{START}$  以下时，将激活电荷泵。激活后， $2 \times V_{DD}$  将提供给 +12V LDO 的输入，使 LDO 的输出至少保持在 +10V。

典型电荷泵飞跨电容为一个 0.1  $\mu$ F 至 1.0  $\mu$ F 的陶瓷电容。

#### 4.1.5 监控器

偏置发生器集成了一个电压监控器和一个温度监控器。

##### 4.1.5.1 电压监控器

电压监控器对器件、外部功率 MOSFET 和外部单片机进行保护，使它们避免因输入电源  $V_{DD}$  过压或欠压而造成损坏。

发生  $V_{DD} < +5.5V$  的欠压情况时，电机驱动器关闭。偏置发生器、通信端口和电机控制单元的其余部分保持有效。故障状态标记在 DE2 引脚上，同时提供状态消息。在  $V_{DD} > +32V$  的极端过压情况下，所有功能均关闭。

##### 4.1.5.2 温度监控器

集成温度传感器自身保护器件电路。如果温度上升到过温关断阈值以上，所有功能均关闭。当温度下降到设置的迟滞值以下且故障已通过切换 CE 清除时，有效操作恢复。

最好在达到过温阈值之前，向单片机发送警告消息。单片机应立即采取适当措施来减少升温。通常是通过 DE2 引脚来向单片机发送消息。

## 4.2 电机控制单元

电机控制单元由以下部分组成：

- 带 NMOS/NMOS MOSFET 对的三相全桥外部驱动电路
- 三个电机电流检测放大器
- 电机过流比较器

#### 4.2.1 电机电流检测电路

内部电机电流检测电路包含一个运算放大器和比较器。放大器输出供给反相比较器输入并作为单片机输出。同相比较器输入连接到一个内部可编程的 8 位 DAC。可选电机电流限制阈值可通过 SET\_ILIMIT 消息进行设置，该消息从主机通过 DE2 通信链路传递给 MCP8024。8 位 DAC 通过 5V 电源供电。该 DAC 的输出电压范围为 0.991V 至 4.503V。DAC 的位值为  $(4.503V - 0.991V) / (2^8 - 1) = 13.77$  mV/位。DAC 输入为 00H 时，DAC 输出电压为 0.991V。上电时，DAC 默认值为 40H（对应于输出 1.872V）。DAC 使用 100 kHz 的滤波器。输入代码到输出电压的延时约为五个时间常量（约等于 50  $\mu$ s）。所需的电流检测增益通过外部电阻网络来确立。

**注：** 电机电流限制比较器输出在内部与驱动器逻辑块的驱动器故障输出进行或运算。单片机应监视比较器输出并采取适当措施。发生过流情况时，电机电流限制比较器电路不会禁止电机驱动器。电流限制比较器只有一个。MCP8024提供三个电流检测放大器，这些放大器可用于实现高级控制算法，例如磁场定向控制（Field Oriented Control, FOC）。

比较器输出可用作电流限制。此外，电流检测输出可用于加速换向PWM速度环控制，以实现电机的加速或减速。可通过电机电流的迟滞控制或固定关断时间实现模拟加速换向速度环。这有助于实现一个非常稳定可靠的控制器，因为电机电流始终处于即时控制下。

与桥接地回路串联的检测电阻为反馈和电流限制提供一个电流信号。此电阻应是非感性电阻以将高 $di/dt$ 的振荡降到最低。电源电路中的电感代表着存在潜在的额外电压应力和振荡以及更长的开关时间。尽管实际上无法彻底消除这些不良影响，但通过仔细布线和旁路可将影响降到最低。输出级应在散热允许的情况下尽量紧凑，采用宽而短的走线承载所有脉冲电流。每个半桥均应通过一个低ESR/ESL电容单独旁路，使其与电路的其他部分解耦。一些布线方式将允许输入滤波器电容分为三个更小的值，并作为半桥旁路电容而具有双重功能。

**注：** 利用加速换向控制，电机电流始终流过检测电阻。但PWM关闭后，反激二极管或同步整流器导通，导致电流反向流过检测电阻。

选择电流检测电阻来建立峰值电流限制阈值，通常将该值设置高于最大电流命令级别的20%，以在异常情况下提供过流保护。在正常情况下，因具有正确补偿的电流环，不会达到峰值电流限制。

## 4.2.2 电机控制

BLDC电机控制的换向环是用于锁定转子位置的锁相环（Phase-Locked Loop, PLL）。请注意，此内层控制环不会试图修改转子位置，但会修改换向时间以匹配转子位置。外层速度环改变转子速度，换向环锁定到转子位置以在正确时间进行相位转换。

### 4.2.2.1 无传感器电机控制

将MCP8024和单片机配合使用可实现很多控制算法。以下讨论如何在三相电机的无传感器控制应用是实现MCP8024的起点。通过一次激励两个绕组并按照六步换向法（每旋转一周分六步的方法）给绕组有序通电来驱动电机。此方法使一个绕组始终处于未激励状态，可监视未激励绕组上的电压（反电动势）以确定转子位置。

#### 4.2.2.2 启动顺序

当驱动的电机处于静止状态时，反向电动势等于零。电机需要转动，反电动势传感器才可锁定转子位置并使电机换向。使转子从静止上升到转速足以允许反电动势检测的推荐启动顺序包括三种模式：锁定或对齐模式、斜坡模式和运行模式。请参见表4-1中的换向状态机。单片机遍历换向状态机的顺序决定了电机旋转的方向。

#### 4.2.2.3 禁止模式（CE = 0）

禁止驱动器（CE = 0）时，所有驱动器均关闭。

#### 4.2.2.4 锁定模式

在启动电机前，转子必须处于已知位置。在锁定模式下，单片机将B相驱动为低电平，将A相和C相驱动为高电平。这将转子调整到第一个换向状态中心前30°电角度。锁定模式必须持续足够长时间以使电机和其负载稳定到此位置。

#### 4.2.2.5 斜坡模式

锁定模式结束后将进入斜坡模式。在斜坡模式下，单片机按线性增长方式遍历换向状态机，直到达到最小速度为止。斜坡模式为开环换向。不使用转子位置信息。

## 4.2.2.6 运行模式

斜坡模式结束后将进入运行模式。在运行模式下，将使用反向电动势传感器，此时由锁相环控制换向。电机速度可通过外层速度控制环进行调节。

表4-1: 换向状态机

状态	输出						BEMF采样
	HA	HB	HC	LA	LB	LC	
CE = 0	关断	关断	关断	关断	关断	关断	N/A
锁定	导通	关断	导通	关断	导通	关断	N/A
1	导通	关断	关断	关断	关断	导通	B相
2	关断	导通	关断	关断	关断	导通	A相
3	关断	导通	关断	导通	关断	关断	C相
4	关断	关断	导通	导通	关断	关断	B相
5	关断	关断	导通	关断	导通	关断	A相
6	导通	关断	关断	关断	导通	关断	C相

## 4.2.2.7 PWM速度控制

内层换向环为锁相环，可锁定到转子位置。此内层环不会试图修改转子位置，但会修改换向时间以匹配转子位置。外层速度环改变转子速度，内层换向环锁定到转子位置以在正确时间进行相位转换。

外层速度环对电机驱动逆变器进行脉宽调制（PWM）以生成所需的电机波形和电压。然后电机的电感集成此PWM模式，生成所需的平均电流，从而控制电机所需的转矩和速度。对于带有六步换向的梯形BLDC电机驱动，PWM用于生成平均电压，该电压产生所需的电机电流，从而控制电机速度。

有两种对逆变器开关进行脉宽调制的基本方法。第一种方法通过在电流衰减期间反转电机绕组上的电压，将电机电感中的无功能量返回给电源。此方法称为快速衰减或加速换向。第二种方法通过在电感上施加最小电压在电机中循环无功电流。此方法称为慢速衰减或减速换向。

首选的控制方法对电机正向或反向加速的情况均采用加速换向PWM。为了提高效率，在稳态条件下采用减速换向PWM。加速换向速度环通过电机电流的迟滞控制、固定关断时间控制或平均电流模式控制实现。这有助于实现一个非常稳定可靠的控制器，因为电机电流始终处于即时控制下。供给加速换向环的电机速度约减少9%。仅

调制上桥臂开关的固定频率PWM实现减速换向环。将电机全速供给减速换向环，因此如果其可控制该速度，加速换向环将始终无法得到满足并保持饱和。如果电机转矩超出正常范围，无论是因负载改变或速度改变产生加速转矩引起，加速换向仍可负责完全控制。在启动或加速到全速期间，减速换向环将保持饱和，加速换向环进行完全控制。减速换向环的带宽设置得比加速换向环低，从而由加速换向环处理任何瞬态情况，并且减速换向环仅在稳态工作时有效。

## 4.2.3 带NMOS/NMOS MOSFET对的三相全桥外部驱动电路

各个电机相位通过外部NMOS/NMOS MOSFET对进行驱动。这些MOSFET对通过下桥臂和上桥臂栅极驱动器进行控制。栅极驱动器直接通过数字输入引脚PWM[1:3]H/L进行控制。逻辑高电平使相关栅极驱动器导通，逻辑低电平使相关栅极驱动器关断。PWM[1:3]H/L数字输入配有内部下拉电阻。

下桥臂栅极驱动器通过+12V LDO输出进行偏置，以地为参考。上桥臂栅极驱动器为悬浮驱动，通过自举电容电路偏置。每当相应的下桥臂MOSFET导通时，自举电容将通过+12V LDO进行充电。

## 4.2.3.1 外部驱动器保护功能

各驱动器配有欠压锁定 (UVLO) 和短路保护功能。

### 4.2.3.1.1 驱动器欠压锁定 (UVLO)

当驱动器偏置电压低于驱动器欠压锁定阈值 ( $D_{UVLO}$ ) 时, 即使命令驱动器导通, 它也不会导通。驱动器故障将通过 `ILIMIT_OUT` 漏极开路输出引脚以及 `DE2` 通信状态 1 消息通知到主机单片机。这是锁定故障。需将器件断电或通过器件使能输入 (CE) 禁止器件再使能器件来清除故障。配置 0 寄存器的 bit 3 用于使能或禁止驱动器欠压锁定功能。此保护功能可避免外部 MOSFET 受不适合全面改善器件的栅极电压的控制。

### 4.2.3.1.2 外部 MOSFET 短路电流

短路保护监视导通情况下外部 MOSFET 上的电压。如果电压上升到用户可配置的阈值以上, 则所有驱动器均将关断。驱动器故障将通过 `ILIMIT_OUT` 漏极开路输出引脚以及 `DE2` 通信状态 1 消息通知到主机单片机。这是锁定故障。需将器件断电或通过器件使能输入 (CE) 禁止器件再使能器件来清除故障。此保护功能有助于检测电机内部故障, 例如绕组到壳体短路。

**注:** 驱动器短路保护取决于应用参数。针对一定数目的阈值提供了配置消息。此外, 驱动器 UVLO 和/或短路保护可被禁止。

可通过 `DE2 Set_Cfg_0` 消息设置短路电压。bit 0 和 bit 1 用于选择短路比较的电压。如果 MOSFET 漏极与源极间的电压超出所选电压, 则将触发故障。可选电压为 250 mV、500 mV、750 mV 和 1000 mV。配置 0 寄存器的 bit 2 用于使能或禁止短路检测。

### 4.2.3.2 栅极控制逻辑

栅极控制逻辑提供数字输入的电平转换、极性控制和跨导保护。跨导保护通过两种方式执行。

### 4.2.3.2.1 跨导保护

首先, 通过逻辑避免在功率 MOSFET 已导通的情况下, 相同半桥上的相反功率 MOSFET 导通。如果数字输入命令同一半桥上的两个 MOSFET 同时导通, 则两个 MOSFET 均将被关断。

### 4.2.3.2.2 可编程死区

其次, 栅极控制逻辑采用可编程的先断后通死区延迟。可通过配置消息来配置驱动器死区。允许的死区为 250 ns、500 ns、1  $\mu$ s 和 2  $\mu$ s。

### 4.2.3.2.3 可编程消隐时间

可通过配置消息来配置驱动器电流限制消隐时间。消隐时间允许系统忽略开关输出时可能发生的电流尖峰。允许的消隐时间为 500 ns、1  $\mu$ s、2  $\mu$ s 和 4  $\mu$ s (默认值)。消隐时间将在死区电路超时后开始计时。

## 4.3 芯片使能 (CE)

芯片使能 (CE) 引脚允许通过外部控制禁止器件。当芯片使能引脚无效时, 以下子系统将被禁止:

- 上桥臂栅极驱动 (HA、HB 和 HC)
- 下桥臂栅极驱动 (LA、LB 和 LC)
- 12V LDO
- 连接到电平转换器的 30K 上拉电阻从电路断开, 以使电流消耗降至最低 (可配置)。

5V LDO 和降压稳压器保持使能。DE2 通信端口保持有效, 但该端口仅可响应命令。当 CE 无效时, 为了节省功耗将阻止 DE2 端口发起通信。

CE 无效时 (器件禁止) 的器件总电流消耗保持在器件特性表中指定的“输入静态电流”限制范围内。

## 4.4 通信端口

通信端口提供与主机系统通信的途径。

### 4.4.1 DE2 通信端口

可使用半双工 9600 波特 UART 接口与外部主机通信。该端口用于配置 MCP8024, 也用于传送状态和故障消息。

#### 4.4.2 电平转换器

电平转换器是配套单片机逻辑电平和系统输入电压电平之间的接口。通常，从引擎控制单元（Engine Control Unit, ECU）驱动输入。电平转换器是单向转换器。高电压输入上的信号将转换为低电压输出上的低电压信号。高电压 HV\_INx 输入带有可配置的 30K 上拉电阻。通过 SET\_CFG\_0 消息配置上拉。寄存器的 bit 6 控制上拉的状态。仅在 CE 引脚有效时，此位才可更改。低电压 LV\_OUTx 输出为漏极开路输出。

**注：** TQFP 封装有两个电平转换器。第二个电平转换器通常与点火钥匙开/关信号相连。

#### 4.5.3 数据包时序

当没有数据正在传输时，必须通过外部上拉电阻将漏极开路 DE2 线路置为逻辑 1。数据包由一个起始位（始终为逻辑 0）后跟八个数据位和一个停止位组成。停止位必须始终为逻辑 1。传输一个字节的的数据需要 10 位。

器件通过检测逻辑 1 到逻辑 0 的切换来检测起始位（请注意，数据线空闲时，逻辑电平为高电平）。检测到起始位后，可确保下一个数据位的“中心”在 24 减 2 个计时周期（同步器不确定最坏情况）之后。然后，随后的各个数据位中心处于 16 个时钟计时周期之后。图 4-3 说明了这一点。

### 4.5 主机通信

#### 4.5.1 DE2 通信

使用漏极开路 DE2 引脚实现单线、半双工、9600 波特、8 位双向通信接口。该接口由八个数据位、一个停止位和一个启动位组成。后面几节将介绍接口的实现。通常，在主机发送引脚和 MCP8024 DE2 引脚之间应使用一个 2K 电阻，以允许 MCP8024 在主机 TX 引脚处于空闲高电平时驱动 DE2 线路。

CE = 0 时 DE2 通信有效，但 MCP8024 不会发送任何消息。无论 CE 引脚为何种状态，主机处理器均可发送消息。CE 引脚为低电平时，MCP8024 将响应主机命令。

#### 4.5.2 数据包格式

每次出现内部状态变化时，都会触发一次与单片机的通信。接口使用每秒 9600 位的标准 UART 波特率。

在 DE2 协议中，发送器和接收器不共用一个时钟信号。时钟信号不会从一个发送器发送到另一个接收器。因此该协议是异步的。协议仅使用一条线路来通信，因此必须以半双工模式执行发送/接收数据包。仅当完整的数据包发送完成后，才允许新的发送消息。

主机必须侦听 DE2 线路以检查是否有争用。如果存在争用，主机必须释放该线路，并在启动新传送前等待至少三个数据包长度的时间。

图 4-2 说明了基本 DE2 数据包。

# MCP8024

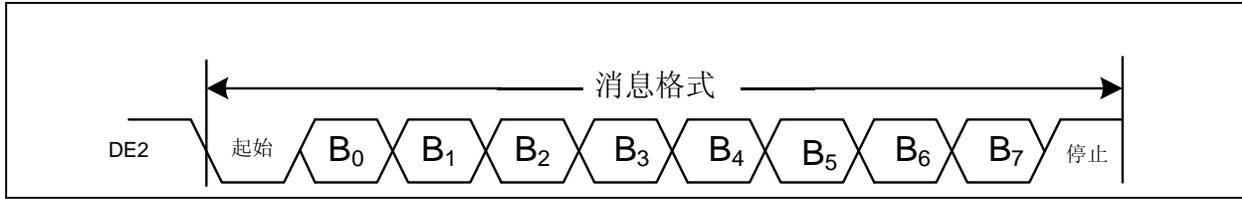


图4-2: DE2数据包格式

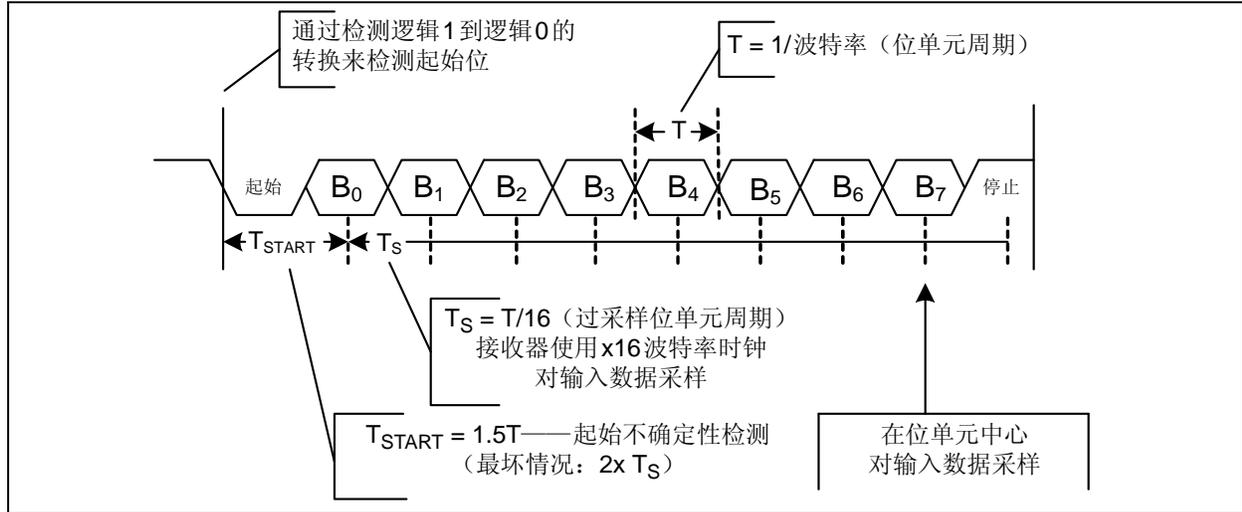


图4-3: DE2数据包时序

## 4.5.4 消息传送接口

命令字节的最高有效位bit 7 (msb) 将始终置为1。bit 6和bit 5保留供将来使用，应置为0。bit 4:0用于命令。这可允许32个可能的命令。

### 4.5.4.1 主机到MCP8024

从主机发送到MCP8024器件的消息由一个或两个八位字节组成。首先传输的字节是命令字节。如果需要，第二个传输的字节是命令数据。

### 4.5.4.2 MCP8024到主机

MCP8024器件的请求响应字节将始终通过bit 7置0（响应）来回应命令字节，通过bit 6置1应答（ACK）或置0不应答（NACK）。如果需要，第二个字节是用于主机命令的数据。任何引起错误或不受支持的命令均将接收到NACK响应。

MCP8024可向主机控制器发送未经请求的命令消息。所有发送到主机控制器的消息均不需要主机控制器响应。

### 4.5.4.3 消息

#### 4.5.4.3.1 SET\_CFG\_0

SET\_CFG\_0消息由主机发送给MCP8024器件，以配置器件。可在任何时候向器件发送SET\_CFG\_0消息。主机负责确保系统处于不会因发送SET\_CFG\_0消息而变差的状态。SET\_CFG\_0消息格式如表4-2所示。响应如表4-3所示。

#### 4.5.4.3.2 GET\_CFG\_0

GET\_CFG\_0消息由主机发送给MCP8024器件，以检索器件配置寄存器。GET\_CFG\_0消息格式如表4-2所示。响应如表4-3所示。

#### 4.5.4.3.3 STATUS\_0/1

STATUS\_0/1消息由主机发送给MCP8024器件，以检索器件状态寄存器。STATUS\_0/1消息也可由MCP8024器件发送给主机，以向主机通知状态变化。STATUS\_0/1消息格式如表4-2所示。响应如表4-3所示。

每当器件由于欠压事件重新启动或正常启动时，状态消息 1 的 bit 4 “欠压复位 - 配置丢失” 将置 1。该位置 1 后，将向主机发送一条未经请求的消息，指示已发生复位，配置数据可能已丢失。标志通过器件响应主机状态请求命令的“状态 1 应答”（01000110（46H））复位。

#### 4.5.4.3.4 SET\_CFG\_1

SET\_CFG\_1 消息由主机发送给 MCP8024 器件，以配置电机电流限制参考 DAC。可在任何时候向器件发送 SET\_CFG\_1 消息。主机负责确保系统处于不会因发送 SET\_CFG\_1 消息而变差的状态。SET\_CFG\_1 消息格式如表 4-2 所示。响应如表 4-3 所示。

#### 4.5.4.3.5 GET\_CFG\_1

GET\_CFG\_1 消息由主机发送给 MCP8024 器件，以检索电机电流限制参考 DAC 配置寄存器。GET\_CFG\_1 消息格式如表 4-2 所示。响应如表 4-3 所示。

#### 4.5.4.3.6 SET\_CFG\_2

SET\_CFG\_2 消息由主机发送给 MCP8024 器件，以配置驱动器电流限制消隐时间。可在任何时候向器件发送 SET\_CFG\_2 消息。主机负责确保系统处于不会因发送 SET\_CFG\_2 消息而变差的状态。SET\_CFG\_2 消息格式如表 4-2 所示。响应如表 4-3 所示。

#### 4.5.4.3.7 GET\_CFG\_2

GET\_CFG\_2 消息由主机发送给 MCP8024 器件，以检索器件配置寄存器 #2。GET\_CFG\_2 消息格式如表 4-2 所示。响应如表 4-3 所示。

# MCP8024

表4-2: 主机到MCP8024的DE2通信命令

命令	字节	Bit	值	说明
SET_CFG_0	1		10000001 (81H)	设置配置寄存器0
	2	7	0	未使用 (启动默认值)
		6	0 1	CE = 0 (默认值) 时禁止断开30K电平转换器上拉电阻 CE = 0时允许断开30K电平转换器上拉电阻
		5	0	未使用
		4	0	保留
		3	0 1	使能欠压锁定 (启动默认值) 禁止欠压锁定
		2	0 1	使能外部MOSFET短路检测 (启动默认值) 禁止外部MOSFET短路检测
		1:0	00 01 10 11	将外部MOSFET过流限值设置为0.250V (启动默认值) 将外部MOSFET过流限值设置为0.500V 将外部MOSFET过流限值设置为0.750V 将外部MOSFET过流限值设置为1.000V
GET_CFG_0	1		10000010 (82H)	获取配置寄存器0
STATUS_0	1		10000101 (85H)	获取状态寄存器0
STATUS_1	1		10000110 (86H)	获取状态寄存器1
SET_CFG_1	1		10000011 (83H)	设置配置寄存器1 DAC电机电流限制参考电压
	2	7:0	00H - FFH	选择DAC电流参考值 (4.503V - 0.991V) / 255 = 13.77 mV / 位 00H = 0.991V 40H = 1.872V (40H * 0.1377 mV / 位 + 0.991V) (启动默认值) FFH = 4.503V (FFH * 0.1377 mV / 位 + 0.991V)
GET_CFG_1	1		10000100 (84H)	获取配置寄存器1 获取DAC电机电流限制参考电压
SET_CFG_2	1		10000111 (87H)	设置配置寄存器2
	2	7:4	00H	未使用 (启动默认值)
		3:2	--- 00 01 10 11	驱动器死区 (用于PWMH/PWML输入) 2 μs (默认值) 1 μs 500 ns 250 ns
		1:0	--- 00 01 10 11	驱动器消隐时间 (忽略开关电流尖峰) 4 μs (启动默认值) 2 μs 1 μs 500 ns
GET_CFG_2	1		10001000 (88H)	获取配置寄存器2

表4-3: MCP8024到主机的DE2通信消息

消息	字节	Bit	值	说明	
STATUS_0	1	7:0	00000101 (05H)	状态寄存器0响应无应答 (响应)	
			01000101 (45H)	状态寄存器0响应已应答 (响应)	
			10000101 (85H)	到主机的状态寄存器0命令 (未经请求)	
	2	7:0	00000000	常规操作	
			00000001	温度警告 ( $T_J > 125^{\circ}\text{C}$ (默认警告级别))	
			00000010	过热 ( $T_J > 160^{\circ}\text{C}$ )	
			00000100	输入欠压 ( $V_{DD} < 5.5\text{V}$ )	
			00001000	保留	
			00010000	输入过压 ( $V_{DD} > 32\text{V}$ )	
			00100000	降压稳压器过流	
			01000000	降压稳压器输出欠压警告	
			10000000	降压稳压器输出欠压 (< 80%, 欠压错误)	
STATUS_1	1	7:0	00000110 (06H)	状态寄存器1响应无应答 (响应)	
			01000110 (46H)	状态寄存器1响应已应答 (响应)	
			10000110 (86H)	到主机的状态寄存器1命令 (未经请求)	
	2	7:0	00000000	常规操作	
			00000001	5V LDO 过流	
			00000010	12V LDO 过流	
			00000100	外部MOSFET 欠压锁定 (UVLO)	
			00001000	外部MOSFET 过流检测	
			00010000	欠压复位-配置丢失 (启动默认值 = 1)	
			00100000	未使用	
			01000000	未使用	
			10000000	未使用	
SET_CFG_0	1	7:0	00000001 (01H)	设置配置寄存器0无应答 (响应)	
			01000001 (41H)	设置配置寄存器0已应答 (响应)	
	2	7	0	未使用 (启动默认值)	
			6	0	CE = 0 (默认值) 时禁止断开30K电平转换器上拉电阻
				1	CE = 0时允许断开30K电平转换器上拉电阻
			5	0	未使用
			4	0	保留
				3	0
			1	欠压锁定禁止	
			2	0	外部MOSFET 过流检测使能 (默认值)
1	外部MOSFET 过流检测禁止				
		1:0	00	0.250V 外部MOSFET 过流限值 (默认值)	
			01	0.500V 外部MOSFET 过流限值	
			10	0.750V 外部MOSFET 过流限值	
			11	1.000V 外部MOSFET 过流限值	
GET_CFG_0	1	7:0	00000010 (02H)	获取配置寄存器0响应无应答 (响应)	
			01000010 (42H)	获取配置寄存器0响应已应答 (响应)	
	2	7	0	未使用 (启动默认值)	
			6	0	CE = 0 (默认值) 时禁止断开30K电平转换器上拉电阻
				1	CE = 0时允许断开30K电平转换器上拉电阻
			5	0	未使用
			4	0	保留

# MCP8024

表4-3: MCP8024到主机的DE2通信消息 (续)

消息	字节	Bit	值	说明
		3	0 1	欠压锁定使能 (默认值) 欠压锁定禁止
		2	0 1	外部MOSFET过流检测使能 (默认值) 外部MOSFET过流检测禁止
		1:0	00 01 10 11	0.250V外部MOSFET过流限值 (默认值) 0.500V外部MOSFET过流限值 0.750V外部MOSFET过流限值 1.000V外部MOSFET过流限值
SET_CFG_1	1		0000011 (03H) 0100011 (43H)	设置DAC电机电流限制参考电压无应答 (响应) 设置DAC电机电流限制参考电压已应答 (响应)
	2	7:0	00H - FFH	当前DAC电流参考值 13.77 mV / 位 + 0.991V
GET_CFG_1	1		00000100 (04H) 01000100 (44H)	获取DAC电机电流限制参考电压无应答 (响应) 获取DAC电机电流限制参考电压已应答 (响应)
	2	7:0	00H - FFH	当前DAC电流参考值 13.77 mV / 位 + 0.991V
SET_CFG_2	1		00000111 (07H) 01000111 (47H)	设置配置寄存器2无应答 (响应) 设置配置寄存器2已应答 (响应)
	2	7:4	00H	未使用 (默认值)
		3:2	--- 00 01 10 11	驱动器死区 (用于PWMH/PWML输入) 2 μs (默认值) 1 μs 500 ns 250 ns
		1:0	--- 00 01 10 11	驱动器消隐时间 (忽略开关电流尖峰) 4 μs (默认值) 2 μs 1 μs 500 ns
GET_CFG_2	1		00001000 (08H) 01001000 (48H)	获取配置寄存器2响应无应答 (响应) 获取配置寄存器2响应已应答 (响应)
	2	7:4	00H	未使用 (默认值)
		3:2	--- 00 01 10 11	驱动器死区 (用于PWMH/PWML输入) 2 μs (默认值) 1 μs 500 ns 250 ns
		1:0	--- 00 01 10 11	驱动器消隐时间 (忽略开关电流尖峰) 4 μs (默认值) 2 μs 1 μs 500 ns

## 5.0 应用信息

### 5.1 元件计算

#### 5.1.1 电荷泵电容

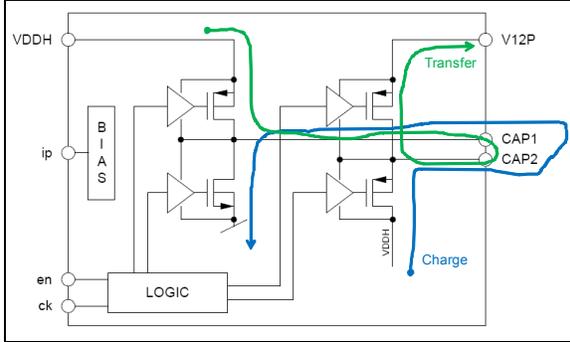


图5-1: 电荷泵

假设:

- $I_{out} = 20 \text{ mA}$
- $F_{cp} = 75 \text{ kHz}$  (一个周期内充/放电)
- 50% 占空比
- $V_{DD} = 6 \text{ V}$  (最坏情况)
- $R_{DS_{ON}} = 7.5 \Omega$  ( $R_{PMOS}$ ),  $3.5 \Omega$  ( $R_{NMOS}$ )
- $V_{out} = 2 \times V_{DD}$  (理想情况)
- $C_{ESR} = 20 \text{ m}\Omega$  (陶瓷电容)
- $V_{drop} = 100 \text{ mV}$  ( $V_{out}$  纹波)
- $T_{chg} = T_{dchg} = 0.5 \times 1/75 \text{ kHz} = 6.67 \mu\text{s}$

##### 5.1.1.1 飞跨电容

选择的飞跨电容应能够在半个开关周期内至少充电到  $V_{DD}$  的 95% ( $3\tau$ )。

$$3 * \tau = T_{chg}$$

$$\tau = T_{chg}/3$$

$$RC = T_{chg}/3$$

$$C = T_{chg}/(R * 3)$$

$$C = 6.67 \mu\text{s}/([7.5 \Omega + 3.5 \Omega + 0.02 \Omega] * 3)$$

$$C = 202 \text{ nF}$$

选择 180 nF 的电容。

##### 5.1.1.2 电荷泵输出电容

求解电荷泵输出电容, 该电容连接在 V12P 和地之间, 能在一个开关周期内为 20 mA 负载供电。MCP8024 上的 12VLDO 引脚是计算中参考的“V12P”引脚。

$$C = I_{out} * dt/dV$$

$$C = I_{out} * 13.3 \mu\text{s}/(V_{drop} + I_{out} * C_{ESR})$$

$$C = 20 \text{ mA} * 13.3 \mu\text{s}/(0.1 \text{ V} + 20 \text{ mA} * 20 \text{ m}\Omega)$$

$$C >= 2.65 \mu\text{F}$$

##### 5.1.1.3 充电路径 (飞跨电容 CAP1 和 CAP2 之间的飞跨电容)

$$V_{CAP} = V_{DD} (1 - e^{-T/t})$$

$$V_{CAP} = 6 \text{ V} (1 - e^{-[6.67 \mu\text{s} / ([7.5 \Omega + 3.5 \Omega + 20 \text{ m}\Omega] * 180 \text{ nF})])$$

$$V_{CAP} = 5.79 \text{ V 可转移}$$

##### 5.1.1.4 转移路径 (飞跨和输出电容)

$$V_{12P} = V_{DD} + V_{CAP} - I_{OUT} * dt / C$$

$$V_{12P} = 6 \text{ V} + 5.79 \text{ V} - (20 \text{ mA} * 6.67 \mu\text{s} / 180 \text{ nF})$$

$$V_{12P} = 11.049 \text{ V}$$

##### 5.1.1.5 计算在提供 20 mA 期间, 一个周期内的飞跨电容压降

$$dv = I_{out} * dt / C$$

$$dv = 20 \text{ mA} * 6.67 \mu\text{s} / 180 \text{ nF}$$

$$dv = 0.741 \text{ V @ } 20 \text{ mA}$$

由于电容在每个周期内不会完全耗尽, 因此第二个和后续转移周期的可传送电压将更高。第一次转移后,  $V_{CAP}$  将变为  $V_{CAP} - dV$ , 加上  $V_{DD} - (V_{CAP} - dV)$  乘以 RC 常量。每个后续周期都会重复此过程, 因此如果系统在需要满输出电压和电流之前将承受多个充电转移, 则可以使用更大的电荷泵电容。

对第二个周期重复第 5.1.1.3 节 (后续转移值可通过重新计算每次转移后的  $V_{CAP}$  新值得到):

$$V_{CAP} = (V_{CAP} - dV) + (V_{DD} - (V_{CAP} - dV)) (1 - e^{-T/t})$$

$$V_{CAP} = (5.79 \text{ V} - 0.741 \text{ V}) + (6 \text{ V} - (5.79 \text{ V} - 0.741 \text{ V})) * (1 - e^{-[6.67 \mu\text{s} / ([7.5 \Omega + 3.5 \Omega + 20 \text{ m}\Omega] * 180 \text{ nF})])$$

$$V_{CAP} = 5.049 \text{ V} + 0.951 \text{ V} * 0.96535$$

$$V_{CAP} = 5.967 \text{ V 可用于第二个周期转移}$$

##### 5.1.1.6 电荷泵结果

最大电荷泵飞跨电容值为 202 nF, 以在第一个电荷泵周期维持 95% 的电压转移率。可使用更大的电容值, 但充电到最大电压需要更多周期。所需的最小输出电容值为 2.65  $\mu\text{F}$ , 以通过 100 mV 压降提供 13.3  $\mu\text{s}$  时长的 20 mA 电流。可使用更大的输出电容来弥补容差所造成的损失, 容差通常是由温度、电容介质和 PCB 损耗引起的。

这些是近似计算。实际电压可能由于每个周期负载变化引起的电容不完全充电或放电而有所不同。电荷泵计算假设电荷泵可在几个周期内为外部自举电容充电。

# MCP8024

## 5.1.2 自举电容

上桥臂驱动器自举电容需要在三相 BLDC 电机的 1/3 个电机电气周期内为上桥臂驱动器和栅极供电。

假设:

- MOSFET 驱动器电流: 300 mA
- PWM 周期: 50  $\mu$ s (20 kHz) 至 50 ms (20 Hz)
- 最小占空比: 1% (500 ns 至 500  $\mu$ s)
- 最大占空比: 99% (49.5  $\mu$ s 至 49.5 ms)
- $V_{in} = 12V$
- 最小栅极驱动电压: 8V ( $V_{GS}$ )
- 栅极总电荷: 130 nC (80A MOSFET)
- 允许的  $V_{GS}$  压降 ( $V_{DROP}$ ): 3V (12V - 3V = 9V)
- 开关  $R_{DS(ON)}$ : 100 m $\Omega$
- 驱动器偏置电流: 20  $\mu$ A ( $I_{BIAS}$ )
- 开关转换时间 ( $t_{SW}$ ): 40 ns

求解可提供以下条件的最小电容:

- 为 MOSFET 栅极提供 130 nC 的电荷
- 提供 1 M $\Omega$  栅-源极电阻电流
- 提供驱动器偏置电流和开关损耗

$$Q_{MOSFET} = 130 \text{ nC}$$

$$Q_{RESISTOR} = [(V_{GS}/R) * T_{ON}]$$

$$Q_{DRIVER} = (I_{BIAS} * T_{ON} + I_{DRIVER} * t_{SW})$$

$$\text{最坏情况 } T_{ON} = 49.5 \text{ ms (99\% DC)}$$

$$Q_{RESISTOR} = (12V/1 \text{ M}\Omega) * 49.5 \text{ ms}$$

$$Q_{RESISTOR} = 594 \text{ nC}$$

$$Q_{DRIVER} = 20 \mu\text{A} * 49.5 \text{ ms} + 300 \text{ mA} * 40 \text{ ns}$$

$$Q_{DRIVER} = 1.002 \mu\text{C}$$

所有能量需求合计:

$$C = (Q_{MOSFET} + Q_{RESISTOR} + Q_{DRIVER})/V_{DROP}$$

$$C = (130 \text{ nC} + 594 \text{ nC} + 1.002 \mu\text{C}) / 3V$$

$$C = 575 \text{ nF}$$

选择大于 575 nF 的自举电容值。

## 5.1.3 降压开关

### 5.1.3.1 计算不连续模式工作的降压电感

假设:

$$V_{in} = 6V \text{ (最坏情况)}$$

$$V_{out} = 3.3V$$

$$I_{out} = 225 \text{ mA}$$

$$\text{开关频率 } (F_{SW}) : 468 \text{ kHz } (T_{SW} = 2.137 \mu\text{s})$$

$$L_{MAX} \leq V_{out} * (1 - V_{out} / V_{in}) * T_{SW} / (2 * I_{out})$$

$$L_{MAX} \leq 3.3V * (1 - 3.3V/6.0V) * 2.137 \mu\text{s} / (2 * 225 \text{ mA})$$

$$L_{MAX} \leq 7.05 \mu\text{H}$$

选择  $\leq 7.05 \mu\text{H}$  的电感以确保不连续导通模式。

表 5-1 显示了 6V 输入电压 (最坏情况) 和不同输出电压下的不同最大电感值。

### 5.1.3.2 确定所计算电感的峰值开关电流

$$I_{peak} = (V_s - V_o) * D * T/L$$

$$I_{peak} = (6V - 3.3V) * (3.3V/6.0V) * 2.137 \mu\text{s} / 7.05 \mu\text{H}$$

$$I_{peak} = 450 \text{ mA}$$

### 5.1.3.3 设置降压输出电压

降压输出电压通过电感输出到地之间的电阻分压器进行设置。分压器中心抽头反馈给 MCP8024 FB 引脚。FB 引脚电压与内部 1.25V 参考电压进行比较。当 FB 引脚电压降至参考电压以下, 降压占空比增大。当 FB 引脚电压升至参考电压以上, 降压占空比减小。

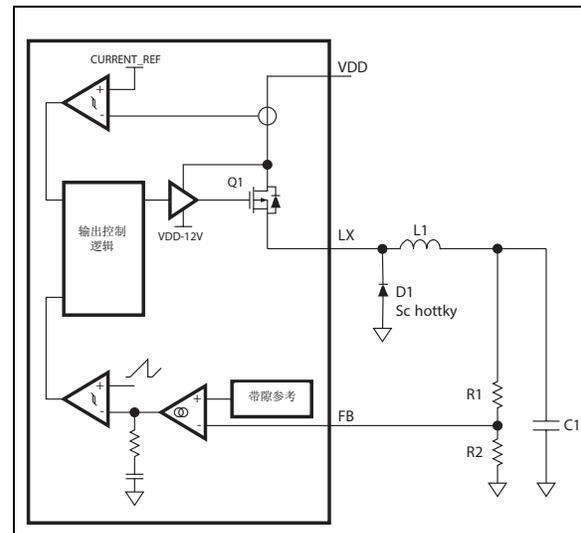


图5-2: 典型降压应用

将 R2 值从 10K 调到 51K, 使通过分压器的电流降至最低。

$$V_{BUCK} = 1.25V * (R1 + R2) / R2$$

表 5-1: 降压不连续模式工作的最大电感

Vin (最坏情况)	Vout	Iout	最大电感
6	3V	250 mA	7.12 $\mu$ H
6	3.3V	225 mA	7.05 $\mu$ H
6	5.0V	150 mA	5.94 $\mu$ H

## 5.2 器件过压保护

如果在电机轴旋转时突然断电，由于电机组件的磁性作用，将使电机像发电机那样动作。流入电机的电流此时将从电机中流出。随着电机磁场衰减，发电机输出也将衰减。发电机终端的电压将与发电机电流和发电机电路的电路阻抗成正比。如果电源是电流返回路径的一部分且电源已断开，则发电机终端的电压将增加，直到电流通过为止。此电压增加现象必须在驱动器外部进行处理。必须使用电压抑制器件来箝制电机终端电压，使其不超出电机最大工作电压。应将电压抑制器从地连接到各个电机终端。PCB 走线必须能够承载电机电流，同时具有最小电压和温升。

另一种方法是禁用上桥臂驱动器并激活下桥臂驱动器。这允许电流通过下桥臂外部 MOSFET，防止电源端电压升高。

# MCP8024

---

## 6.0 勘误表

### 6.1 5V和12V稳压器过流消息

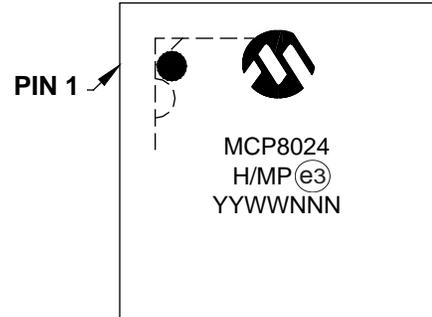
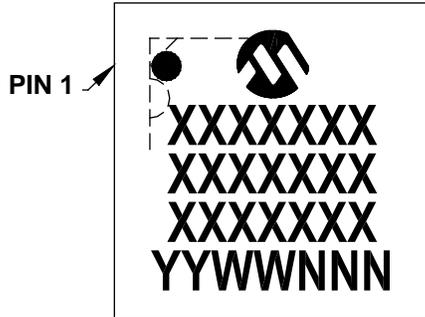
当加速大电流电机时，MCP8024可能发送0x86 0x01、0x86 0x02或0x86 0x03消息。这些消息是5V和12V稳压器的过流警告。警告只用作稳压器状态指示，对实际稳压器工作没有影响。过流警告由大电流电机的加速率导致的大起始电流所引起。可忽略这些消息。

## 7.0 封装信息

### 7.1 封装标识信息

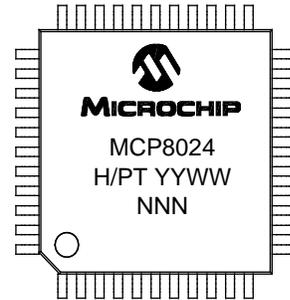
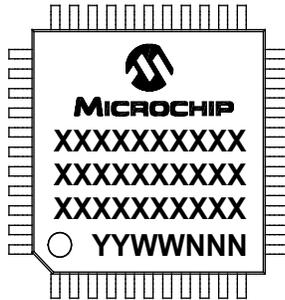
40 引脚 QFN (5x5x0.85 mm)

示例



48 引脚 TQFP (7x7)

示例

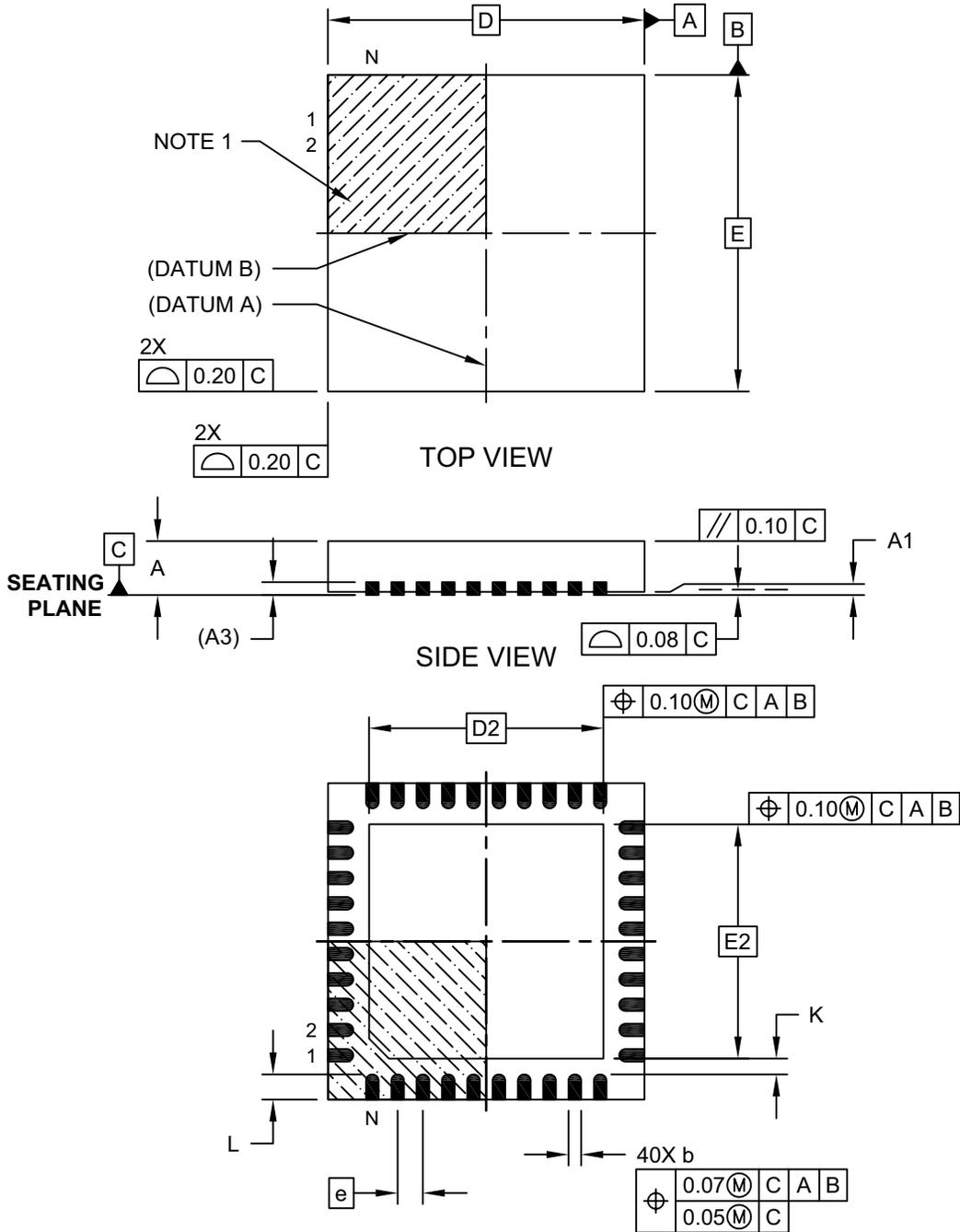


<b>图注:</b>	<p>XX...X 客户指定信息</p> <p>Y 年份代码 (日历年的最后一位数字)</p> <p>YY 年份代码 (日历年的最后两位数字)</p> <p>WW 星期代码 (一月一日的星期代码为“01”)</p> <p>NNN 以字母数字排序的追踪代码</p> <p>(e3) 雾锡 (Matte Tin, Sn) 的 JEDEC 无铅标志</p> <p>* 表示无铅封装。JEDEC 无铅标志 ((e3)) 标示于此种封装的外包装上。</p>
<b>注:</b>	<p>Microchip 部件编号如果无法在同一行内完整标注, 将换行标出, 因此会限制表示客户指定信息的字符数。</p>

# MCP8024

40引脚塑封正方扁平无引脚封装 (MP) —— 主体5x5 mm [QFN], 带3.7x3.7 mm外露焊盘

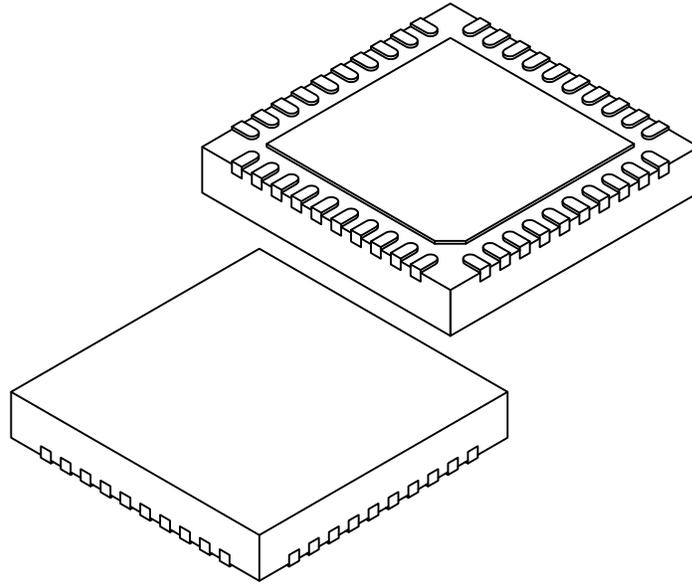
注: 最新封装图请至 <http://www.microchip.com/packaging> 查看封装规范。



Microchip Technology Drawing C04-047-002A Sheet 1 of 2

## 40引脚塑封正方扁平无引脚封装（MP）——主体5x5 mm [QFN]，带3.7x3.7 mm外露焊盘

注：最新封装图请至 <http://www.microchip.com/packaging> 查看封装规范。



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Terminals	N	40		
Pitch	e	0.40 BSC		
Overall Height	A	0.80	0.85	0.90
Standoff	A1	0.00	0.02	0.05
Terminal Thickness	A3	0.20 REF		
Overall Width	E	5.00 BSC		
Exposed Pad Width	E2	3.70 BSC		
Overall Length	D	5.00 BSC		
Exposed Pad Length	D2	3.70 BSC		
Terminal Width	b	0.15	0.20	0.25
Terminal Length	L	0.30	0.40	0.50
Terminal-to-Exposed-Pad	K	0.20	-	-

Notes:

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- Package is saw singulated
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

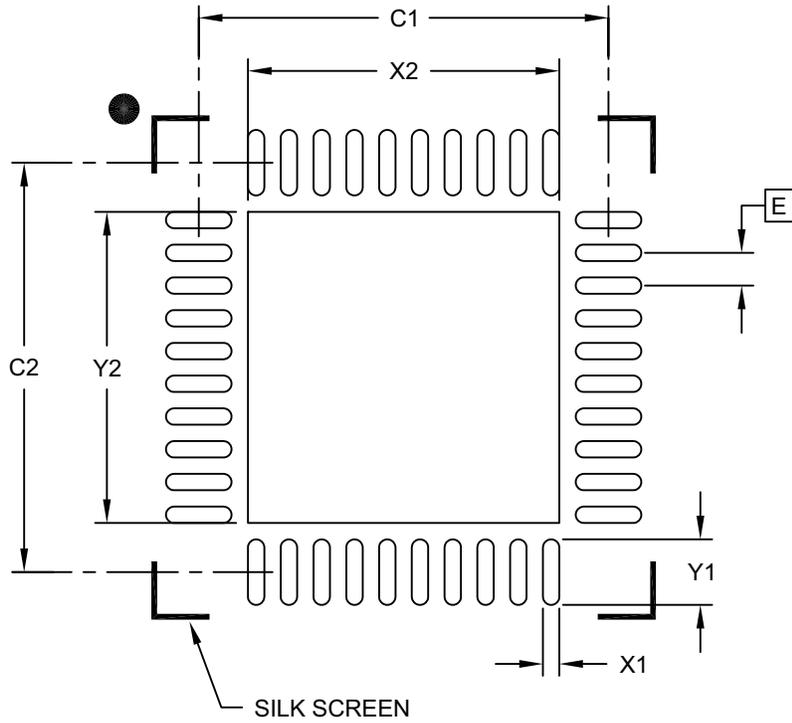
REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-047-002A Sheet 2 of 2

# MCP8024

40引脚塑封正方扁平无引脚封装（MP）——主体5x5 mm [QFN]，带3.7x3.7 mm外露焊盘

注： 最新封装图请至 <http://www.microchip.com/packaging> 查看封装规范。



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.40 BSC		
Optional Center Pad Width	X2			3.80
Optional Center Pad Length	Y2			3.80
Contact Pad Spacing	C1		5.00	
Contact Pad Spacing	C2		5.00	
Contact Pad Width (X40)	X1			0.20
Contact Pad Length (X40)	Y1			0.80

Notes:

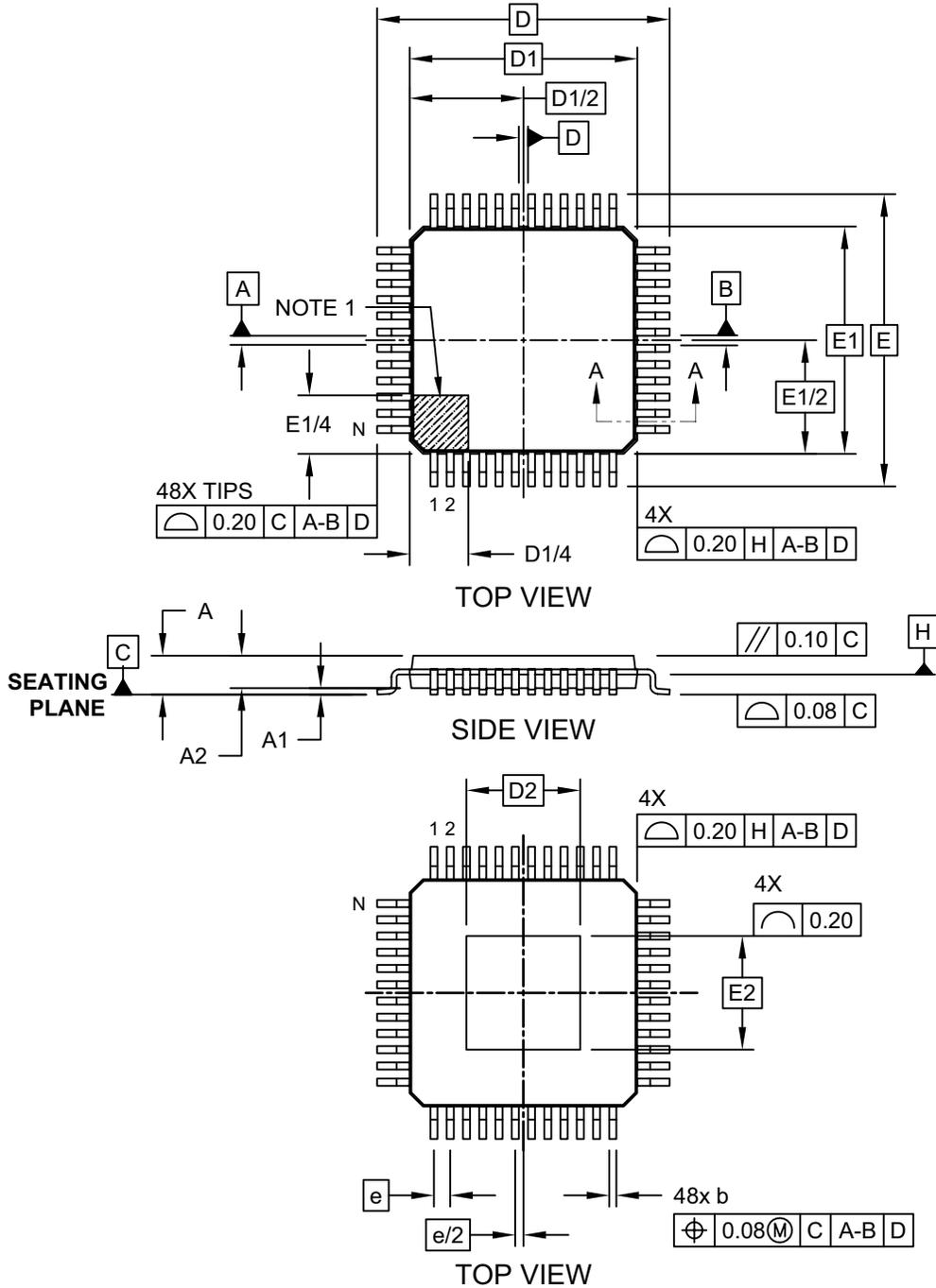
1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-2047-002A

## 48引脚薄型正方扁平封装（PT）——主体7x7x1.0 mm [TQFP]，带外露焊盘

注：最新封装图请至 <http://www.microchip.com/packaging> 查看封装规范。

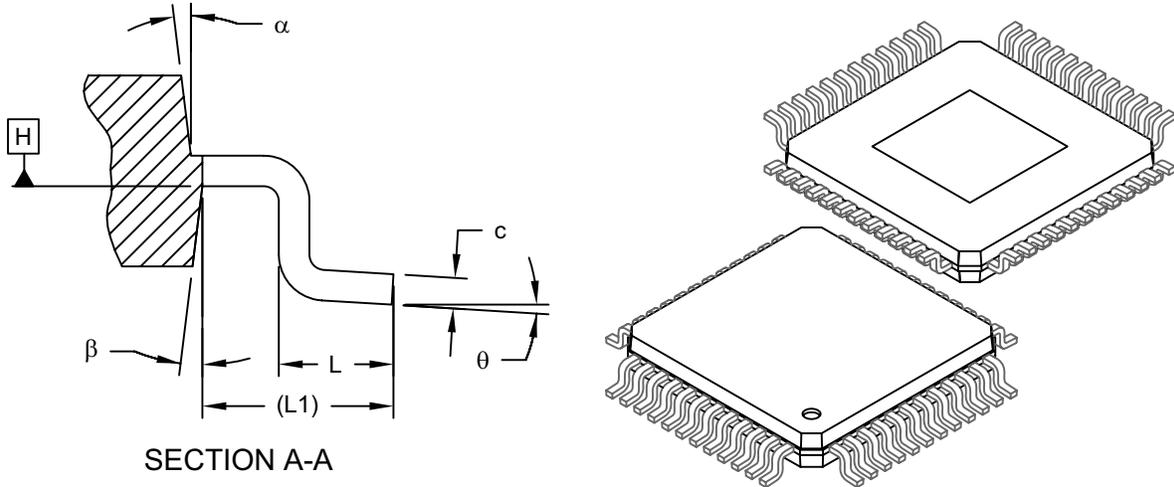


Microchip Technology Drawing C04-183A Sheet 1 of 2

# MCP8024

## 48引脚薄型正方扁平封装（PT）——主体7x7x1.0 mm [TQFP]，带外露焊盘

注：最新封装图请至 <http://www.microchip.com/packaging> 查看封装规范。



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Leads	N	48		
Lead Pitch	e	0.50 BSC		
Overall Height	A	-	-	1.20
Standoff	A1	0.05	-	0.15
Molded Package Thickness	A2	0.95	1.00	1.05
Foot Length	L	0.45	0.60	0.75
Footprint	L1	1.00 REF		
Foot Angle	$\phi$	0°	3.5°	7°
Overall Width	E	9.00 BSC		
Overall Length	D	9.00 BSC		
Molded Package Width	E1	7.00 BSC		
Molded Package Length	D1	7.00 BSC		
Exposed Pad Width	E2	3.50 BSC		
Exposed Pad Length	D2	3.50 BSC		
Lead Thickness	c	0.09	-	0.16
Lead Width	b	0.17	0.22	0.27
Mold Draft Angle Top	$\alpha$	11°	12°	13°
Mold Draft Angle Bottom	$\beta$	11°	12°	13°

Notes:

1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. Chamfers at corners are optional; size may vary.
3. Dimensions D1 and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.25mm per side.
4. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

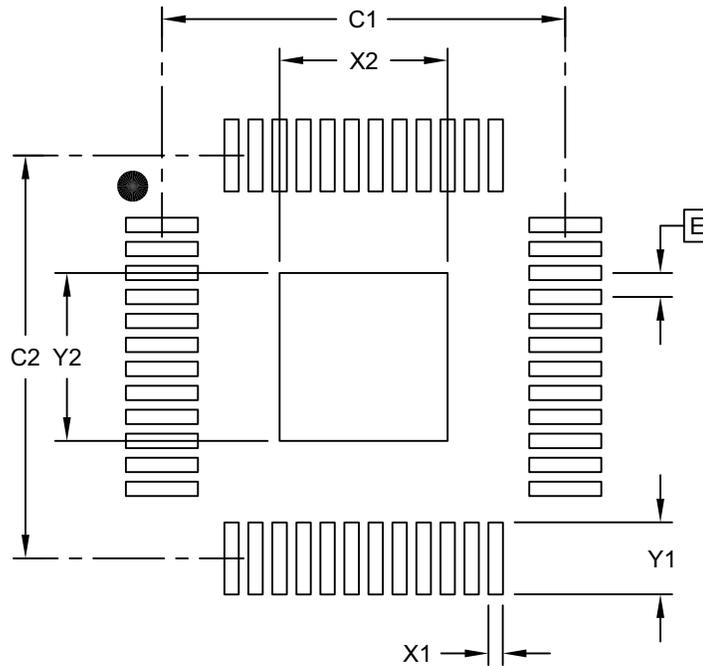
BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-183A Sheet 2 of 2

## 48引脚薄型正方扁平封装（PT）——主体7x7x1.0 mm [TQFP]，带散热片

注：最新封装图请至 <http://www.microchip.com/packaging> 查看封装规范。



RECOMMENDED LAND PATTERN

Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E	0.50 BSC		
Optional Center Tab Width	X2		3.50	
Optional Center Tab Length	Y2		3.50	
Contact Pad Spacing	C1		8.40	
Contact Pad Spacing	C2		8.40	
Contact Pad Width (X48)	X1			0.30
Contact Pad Length (X48)	Y1			1.50

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing No. C04-2183A

# MCP8024

---

注:

## 附录A: 版本历史

### 版本A (2013年9月)

- 本文档的初始版本。

# MCP8024

---

注:

## 产品标识体系

欲订货或获取价格、交货等信息，请与我公司生产厂或各销售办事处联系。

器件编号	-X	/XX
器件	温度范围	封装
<p><b>器件:</b></p> <p>MCP8024: 带功率模块的三相无刷直流 (BLDC) 电机栅极驱动器</p> <p>MCP8024T: 带功率模块的三相无刷直流 (BLDC) 电机栅极驱动器 (卷带式)</p> <p><b>温度范围:</b></p> <p>H = -40°C 至 +150°C (高)</p> <p><b>封装:</b></p> <p>MP = 带外露焊盘的塑封正方扁平无引脚封装—— 主体 5x5 mm, 40 引脚</p> <p>PT = 带外露焊盘的塑封薄型正方扁平封装—— 主体 7x7 mm, 48 引脚, 热性能增强型 (EP)</p>	<p><b>示例:</b></p> <p>a) MCP8024-H/MP: 高温, 40 引脚 5x5 QFN 封装</p> <p>b) MCP8024T-H/PT: 卷带式, 高温, 48 引脚 TQFP-EP 封装</p>	

# MCP8024

---

注:

---

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

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

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

---

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

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

#### 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、dsPIC、FlashFlex、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PIC<sup>32</sup> 徽标、rfPIC、SST、SST 徽标、SuperFlash 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

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

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

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

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

GestIC 和 ULPP 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2014, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-62077-750-3

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
= ISO/TS 16949 =**

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC<sup>®</sup> MCU 与 dsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ<sup>®</sup> 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器 and 模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。



# MICROCHIP

## 全球销售及服务中心

### 美洲

公司总部 **Corporate Office**  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6199  
Tel: 1-480-792-7200  
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:

<http://www.microchip.com/support>

网址: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

#### 亚特兰大 Atlanta

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

#### 奥斯汀 Austin, TX

Tel: 1-512-257-3370

#### 波士顿 Boston

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

#### 芝加哥 Chicago

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

#### 克里夫兰 Cleveland

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

#### 达拉斯 Dallas

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

#### 底特律 Detroit

Novi, MI  
Tel: 1-248-848-4000

#### 休斯敦 Houston, TX

Tel: 1-281-894-5983

#### 印第安纳波利斯 Indianapolis

Noblesville, IN  
Tel: 1-317-773-8323  
Fax: 1-317-773-5453

#### 洛杉矶 Los Angeles

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

#### 纽约 New York, NY

Tel: 1-631-435-6000

#### 圣何塞 San Jose, CA

Tel: 1-408-735-9110

#### 加拿大多伦多 Toronto

Tel: 1-905-673-0699  
Fax: 1-905-673-6509

### 亚太地区

#### 亚太总部 Asia Pacific Office

Suites 3707-14, 37th Floor  
Tower 6, The Gateway  
Harbour City, Kowloon  
Hong Kong  
Tel: 852-2401-1200  
Fax: 852-2401-3431

#### 中国 - 北京

Tel: 86-10-8569-7000  
Fax: 86-10-8528-2104

#### 中国 - 成都

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

#### 中国 - 重庆

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

#### 中国 - 杭州

Tel: 86-571-2819-3187  
Fax: 86-571-2819-3189

#### 中国 - 香港特别行政区

Tel: 852-2943-5100  
Fax: 852-2401-3431

#### 中国 - 南京

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

#### 中国 - 青岛

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

#### 中国 - 上海

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

#### 中国 - 沈阳

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

#### 中国 - 深圳

Tel: 86-755-8864-2200  
Fax: 86-755-8203-1760

#### 中国 - 武汉

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

#### 中国 - 西安

Tel: 86-29-8833-7252  
Fax: 86-29-8833-7256

#### 中国 - 厦门

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

#### 中国 - 珠海

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

### 亚太地区

#### 台湾地区 - 高雄

Tel: 886-7-213-7830

#### 台湾地区 - 台北

Tel: 886-2-2508-8600  
Fax: 886-2-2508-0102

#### 台湾地区 - 新竹

Tel: 886-3-5778-3666  
Fax: 886-3-5770-955

#### 澳大利亚 Australia - Sydney

Tel: 61-2-9868-6733  
Fax: 61-2-9868-6755

#### 印度 India - Bangalore

Tel: 91-80-3090-4444  
Fax: 91-80-3090-4123

#### 印度 India - New Delhi

Tel: 91-11-4160-8631  
Fax: 91-11-4160-8632

#### 印度 India - Pune

Tel: 91-20-3019-1500

#### 日本 Japan - Osaka

Tel: 81-6-6152-7160  
Fax: 81-6-6152-9310

#### 日本 Japan - Tokyo

Tel: 81-3-6880-3770  
Fax: 81-3-6880-3771

#### 韩国 Korea - Daegu

Tel: 82-53-744-4301  
Fax: 82-53-744-4302

#### 韩国 Korea - Seoul

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

#### 马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur

Tel: 60-3-6201-9857  
Fax: 60-3-6201-9859

#### 马来西亚 Malaysia - Penang

Tel: 60-4-227-8870  
Fax: 60-4-227-4068

#### 菲律宾 Philippines - Manila

Tel: 63-2-634-9065  
Fax: 63-2-634-9069

#### 新加坡 Singapore

Tel: 65-6334-8870  
Fax: 65-6334-8850

#### 泰国 Thailand - Bangkok

Tel: 66-2-694-1351  
Fax: 66-2-694-1350

### 欧洲

#### 奥地利 Austria - Wels

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

#### 丹麦 Denmark - Copenhagen

Tel: 45-4450-2828  
Fax: 45-4485-2829

#### 法国 France - Paris

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

#### 德国 Germany - Dusseldorf

Tel: 49-2129-3766400

#### 德国 Germany - Munich

Tel: 49-89-627-144-0  
Fax: 49-89-627-144-44

#### 德国 Germany - Pforzheim

Tel: 49-7231-424750

#### 意大利 Italy - Milan

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

#### 意大利 Italy - Venice

Tel: 39-049-7625286

#### 荷兰 Netherlands - Drunen

Tel: 31-416-690399  
Fax: 31-416-690340

#### 波兰 Poland - Warsaw

Tel: 48-22-3325737

#### 西班牙 Spain - Madrid

Tel: 34-91-708-08-90  
Fax: 34-91-708-08-91

#### 瑞典 Sweden - Stockholm

Tel: 46-8-5090-4654

#### 英国 UK - Wokingham

Tel: 44-118-921-5800  
Fax: 44-118-921-5820

10/28/13