

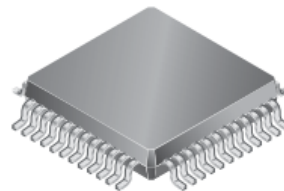
四通道 DMOS 全桥驱动

产品简述

MS3999 是一款四通道可编程电流的 DMOS 全桥驱动器，可以驱动两个步进电机或者四个直流电机。每个全桥的驱动电流在 36V 电源下可以工作到 1.2A。MS3999 集成了固定关断时间的 PWM 电流校正器；另外，芯片还集成了一个四通道 8bit 的 DAC（数模转换器），实现驱动器的通道电流的数字化控制；通过数字 I2C 接口对 DAC 输入编程，可实现 256 微步进式电机驱动。PWM 电流校正器使用混合衰减模式，可以减小音频电机噪声，提高步进精度以及降低功耗。芯片还内置内部同步整流控制电路以降低 PWM 工作时的功耗。

芯片还集成的保护电路有热关断迟滞，低压关断保护 (UVLO) 以及翻转电流保护，因此可以不需要特定的电源启动次序。

MS3999 采用 TQFP48 封装。



TQFP48

主要特点

- 36V 输出
- 四通道全桥
- 四通道 8bitDAC
- DAC 可编程 1 倍或 2 倍的输出
- 双步进电机驱动
- 大电流输出
- 3.3V 和 5V 逻辑
- 同步整流
- UVLO
- 过热保护，翻转保护

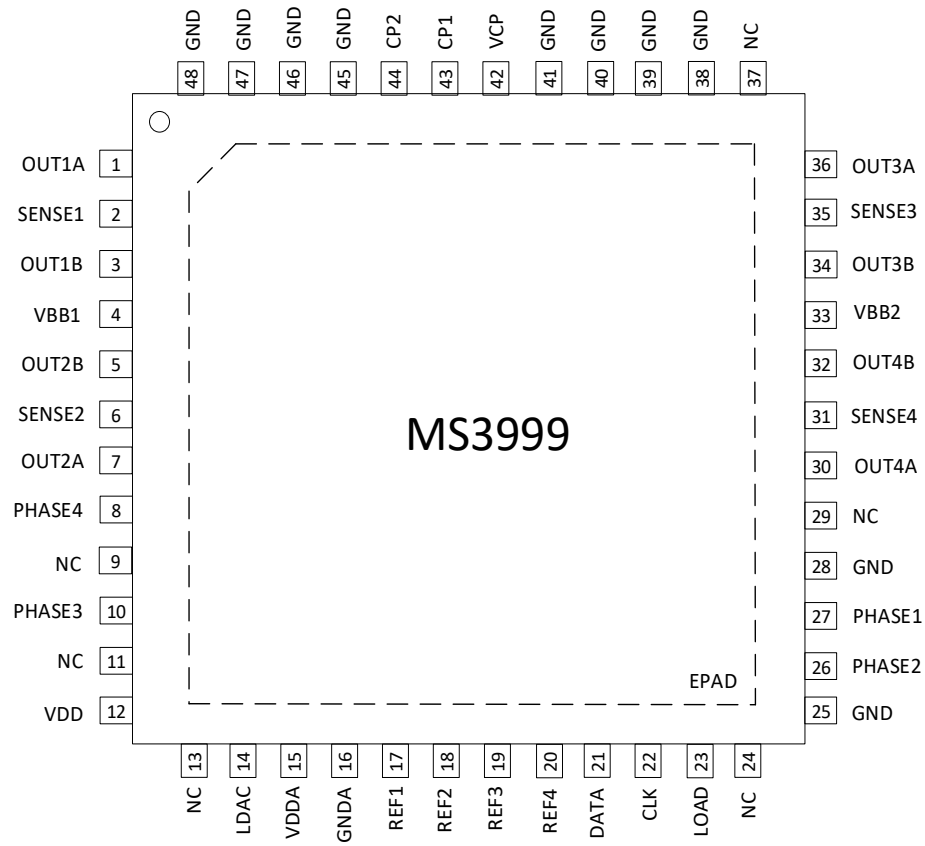
应用

- 安防监控
- 舞台灯
- 玩具
- 机器人技术
- 医疗设备

产品规格分类

产品	封装形式	丝印名称
MS3999	TQFP48	MS3999

管脚图

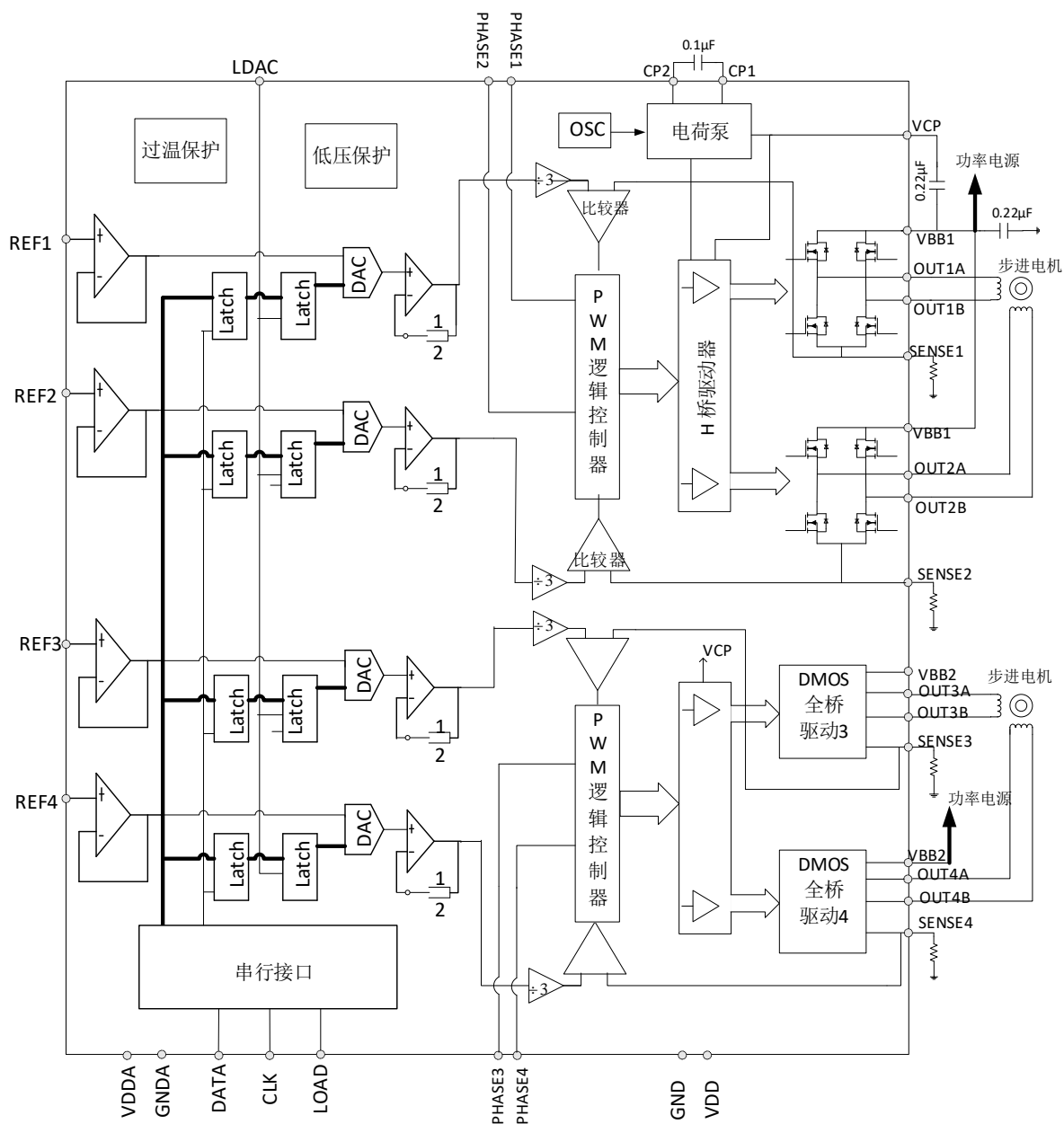


管脚说明

管脚编号	管脚名称	管脚属性	管脚描述
1	OUT1A	O	DMOS H 桥通道 1 输出 A 脚
2	SENSE1	IO	通道 1 Sense 电阻脚
3	OUT1B	O	DMOS H 桥通道 1 输出 B 脚
4	VBB1	-	负载电源 1
5	OUT2B	O	DMOS H 桥通道 2 输出 B 脚
6	SENSE2	IO	通道 2 Sense 电阻脚
7	OUT2A	O	DMOS H 桥通道 2 输出 A 脚
8	PHASE4	I	通道 4 方向控制输入脚
10	PHASE3	I	通道 3 方向控制输入脚
12	VDD	-	逻辑电源
14	LDAC	I	DAC 数据装载。当 LDAC 为高，输入的数据被读到串行接口时，DAC 的输出不会被更新。只有当 LDAC 由高变为低时，DAC 的输出才会更新
15	VDDA	-	模拟电源
16	GNDA	-	模拟地
17	REF1	I	DAC 1 通道的参考电压
18	REF2	I	DAC 2 通道的参考电压
19	REF3	I	DAC 3 通道的参考电压
20	REF4	I	DAC 4 通道的参考电压
21	DATA	I	串行接口数字数据输入。在时钟信号的下降沿，每一位数据被写入串行接口的寄存器中
22	CLK	I	串行接口时钟。在该输入时钟的下降沿，输入的串行数据被写入串行接口的寄存器中
23	LOAD	I	串行接口数据装载。当 LDAC 为低时，在 LOAD 的下降沿，数据被锁存到输出锁存器，并立即在 DAC 被选择的通道中转换产生模拟信号
25	GND	-	地
26	PHASE2	I	通道 2 方向控制输入脚
27	PHASE1	I	通道 1 方向控制输入脚
28	GND	-	地

管脚编号	管脚名称	管脚属性	管脚描述
30	OUT4A	O	DMOS H 桥通道 4 输出 A 脚
31	SENSE4	IO	通道 4 Sense 电阻脚
32	OUT4B	O	DMOS H 桥通道 4 输出 B 脚
33	VBB2	-	负载电源 2
34	OUT3B	O	DMOS H 桥通道 3 输出 B 脚
35	SENSE3	IO	通道 3 Sense 电阻脚
36	OUT3A	O	DMOS H 桥通道 3 输出 A 脚
38	GND	-	地
39	GND	-	地
40	GND	-	地
41	GND	-	地
42	VCP	IO	储存电荷电容脚
43	CP1	IO	电荷泵电容脚
44	CP2	IO	电荷泵电容脚
45	GND	-	地
46	GND	-	地
47	GND	-	地
48	GND	-	地
9,11,13,2 4, 29, 37	NC	-	无连接
-	EPAD	-	裸露的散热片脚，须直接焊接到 PCB 板

内部框图



极限参数

芯片使用中，任何超过极限参数的应用方式会对器件造成永久的损坏，芯片长时间处于极限工作状态可能会影响器件的可靠性。极限参数只是由一系列极端测试得出，并不代表芯片可以正常工作在此极限条件下。

参数	符号	额定值	单位
负载电源	V_{BB}	-0.5 ~ 36	V
逻辑电源	V_{DD}	-0.4 ~ 7	V
模拟电源	V_{DDA}	-0.4 ~ 7	V
输出电流	I_{OUT}	1.2	A
逻辑输入电压范围	V_{IN}	-0.3 ~ 7	V
Sensex 脚电压	V_{SENSEX}	0.5	V
工作温度	T_A	-40 ~ 105	°C
结温	T_{JMAX}	150	°C
存储温度	T_{STG}	-65 ~ 150	°C

电气参数

如无其他说明，测试条件 $T_A=25^{\circ}\text{C}$ ， $V_{BB}=24\text{V}$ ， $V_{DD}=3.3\text{V}$ 。

驱动部分

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
驱动电源	V_{BB}		8.0		36	V
逻辑电源	V_{DD}		3.0		5.5	V
模拟电源	V_{DDA}		2.7		5.25	V
基准输入	$V_{REF1234}$	管脚 REF1234 输入	0		$V_{DDA}-1.5$	V
VDD 电流	I_{DD}			4	10	mA
输出电阻	$R_{DS(on)}$	源驱动， $I_{OUT}=1.2\text{A}$ ， $T_J=25^{\circ}\text{C}$		700		$\text{m}\Omega$
		漏驱动， $I_{OUT}=1.2\text{A}$ ， $T_J=25^{\circ}\text{C}$		700		$\text{m}\Omega$
正向压降	V_F	$I_{OUT}=1.2\text{A}$		1.2		V
输出漏电流	I_{DSS}		-20		20	μA
VBB 电流	I_{BB}	$I_{OUT}=0\text{mA}$ ，输出开启， PWM=50kHz，DC=50%		5	10	mA
逻辑输入高电平	V_{IN1}		$0.7 \times V_{DD}$			V
逻辑输入低电平	V_{IN2}				$0.3 \times V_{DD}$	V
逻辑输入电流	I_{IN}		-20	<1.0	20	μA
迟滞	V_{HYS}			300		mV
传播延迟时间	t_{PD}	PWM 转换，源驱动打开		730		ns
		PWM 转换，源驱动关闭		250		ns
		PWM 转换，漏驱动打开		730		ns
		PWM 转换，漏驱动关闭		180		ns
翻转延迟	t_{COD}			600		ns
空白时间	t_{BLANK}			1		μs
VBB UVLO	$V_{UV(VBB)}$	VBB 上升		7.3		V
VBB 迟滞	$V_{UV(VBB)HYS}$			500		mV
VDD UVLO	$V_{UV(VDD)}$	VDD 上升		2.8		V
VDD 迟滞	$V_{UV(VDD)HYS}$			100		mV
过温保护	T_{JTS}			165		$^{\circ}\text{C}$
过温保护迟滞	$T_{JTS-HYS}$			15		$^{\circ}\text{C}$

DAC 参数

如无特殊条件: $V_{DDA}=3.3V\pm5\%$, $V_{REF}=2V$ 。

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
高电平输入电流	I_{IH}	$V_i=V_{DD}$			± 10	μA
低电平输入电流	I_{IL}	$V_i=0$			± 10	μA
电流沉输出	$I_{O(SINK)}$	每个 DAC 输出	20			μA
电流源输出	$I_{O(SOURCE)}$	每个 DAC 输出	1			mA
输入电容	C_i			15		pF
输入参考电容				15		pF
电源电流	I_{DDA}	$V_{DDA}=3.3V$			2	mA
输入基准电流	I_{REF}	$V_{DDA}=3.3V$, $V_{REF1234}=1.5V$			± 10	μA
积分非线性误差 ¹	E_L	$V_{REF1234}=1.25V$, Gain=2			± 1	LSB
微分非线性误差 ²	E_D	$V_{REF1234}=1.25V$, Gain=2			± 0.9	LSB
零点误差 ³	E_{ZS}	$V_{REF}=1.25V$, Gain=2	0		30	mV
零点误差温度系数 ⁴		$V_{REF}=1.25V$, Gain=2		10		$\mu V/^{\circ}C$
满刻度误差 ⁵	E_{FS}	$V_{REF}=1.25V$, Gain=2			± 60	mV
满刻度温度系数 ⁶		$V_{REF}=1.25V$, Gain=2		± 25		$\mu V/^{\circ}C$
电源抑制比 ^{7,8}	PSRR			0.5		mV/V

DAC 参数

如无特殊条件: $V_{DDA}=5V\pm5\%$, $V_{REF}=2V$ 。

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
高电平输入电流	I_{IH}	$V_i=V_{DD}$			± 10	μA
低电平输入电流	I_{IL}	$V_i=0$			± 10	μA
电流沉输出	$I_{O(SINK)}$	每个 DAC 输出	20			μA
电流源输出	$I_{O(SOURCE)}$	每个 DAC 输出	2			mA
输入电容	C_i			15		pF
输入参考电容				15		pF
电源电流	I_{DD}	$V_{DDA}=5V$			2	mA
输入基准电流	I_{REF}	$V_{DDA}=5V$, $V_{REF}=2V$			± 10	μA
积分非线性误差 ¹	E_L	$V_{REF}=2V$, Gain=2			± 1	LSB
微分非线性误差 ²	E_D	$V_{REF}=2V$, Gain=2			± 0.9	LSB
零点误差 ³	E_{ZS}	$V_{REF}=2V$, Gain=2	0		30	mV
零点误差温度系数 ⁴		$V_{REF}=2V$, Gain=2		10		$\mu V/^{\circ}C$
满刻度误差 ⁵	E_{FS}	$V_{REF}=2V$, Gain=2			± 60	mV
满刻度温度系数 ⁶		$V_{REF}=2V$, Gain=2		± 25		$\mu V/^{\circ}C$
电源抑制比 ^{7,8}	PSRR			0.5		mV/V

注：

1. 积分非线性误差是指实际输出偏离从 0 点到满刻度这条曲线的最大值（不包括零点和满刻度误差）。
2. 微分非线性误差是指 8 位数字码中，任意两个相邻的数字码产生的输出电压的改变量与 1 LSB 的差值。单调意味着输出电压的变化方向与数字输入码的变化方向是一致的。
3. 零点误差是指当输入为全 0 时，输出电压与 GND 的差值。
4. 零点误差温度系数是由下面的公式确定的：

$$ZSETC=[ZSE(T_{MAX})-ZSE(T_{MIN})]/V_{REF} \times 10^6/(T_{MAX}-T_{MIN})$$

5. 满刻度误差在负载电阻 10kΩ 的条件下，输入为全 1 时，实际电压输出与理想输出的差值。
6. 满刻度误差温度系数是由下面的公式确定的：

$$FSETC=[FSE(T_{MAX})-FSE(T_{MIN})]/V_{REF} \times 10^6/(T_{MAX}-T_{MIN})$$

7. 零点误差抑制比的测量：8 位数字输入为全 0，电源电压 VDD 从 4.75V 到 5.25V 变化时，测量它对输出电压的影响。
8. 满刻度误差抑制比的测量：8 位数字输入为全 1，电源电压 VDD 从 3V 到 3.6V 变化时，测量它对输出电压的影响。

功能描述

器件特性

MS3999 可以驱动两个步进电机或四个直流电机，也可以驱动一个步进电机加两个直流电机。输出 H 全桥为四个 N 型 DMOS 驱动管，受控于脉动宽度调制电路(PWM)。每个 H 全桥的输出峰值电流由 Rsensex (Sense 端电阻) 和 DACoutx (数模转换输出电压) 共同决定。

PHASEx 方向控制脚

PHASEx 值	方向
0	正电流 A→B
1	负电流 B→A

内部 PWM 电流控制原理

每个 H 全桥带有固定衰减时间的 PWM 电流控制电路，使得负载电流不超过设定值 I_{TRIP} 。初始时，H 桥对角的一对源漏 DMOS 驱动管打开，电流流入电机和电路检测 Rsense 电阻。当 Rsense 上的电压等于 DACout 电压时，电流检测比较器重置 PWM 锁存器，关断源端 DMOS 驱动管。

最大电流限制由 Rsense(Rs)电阻大小以及 DACout (数模转换器的输出) 的电压共同决定，最大电流公式如下：

$$I_{TRIPMax} = V_{DACOUT} / (3 \times R_s)$$

由于 DAC 的输出公式： $V(DACOUT1 | 2 | 3 | 4) = REF \times \frac{CODE}{256} \times (1 + RNG)$

所以电流实际是由 REF、数字编程 CODE、增益选择 RNG 共同确定。

另外注意，应用中 Rsense 上的最大电压值不要超过±500mV。

固定关断时间

内部的 PWM 控制电路集成一固定时间脉冲来关断驱动器，关断时间(t_{OFF})内置为 9μs。

空白时间

在内部电路控制使得输出发生变化时，此功能可以关断输出电流检测比较器，以防止输出误检测，比如说过冲电流、钳位二极管的反向恢复电流、输出电容引起的反向传输等等。空白时间设置为 1μs。

电荷泵 (CP1 与 CP2)

电荷泵电路产生一个比 VBB 高的电源，来驱动 H 桥的源端 DMOS 管。应用中，由于充放电的需要，CP1 与 CP2 间需要接一个 0.1μF 的陶瓷电容。VCP 与 VBBx 之间也需要接一个 0.1μF 的陶瓷电容，来存储电荷。

关断功能

当超过结温、VCP 过低等意外出现时，输出被关断。在启动时，VBB 欠压时，(UVLO)可以关断输出。

同步整流

当内部固定衰减时间电路触发，PWM 关断起作用时，负载电流会产生回流。在电流衰落的过程中，MS3999 同步整流电路会打开相应的 DMOS 管，用 $R_{ds(on)}$ 电阻来短接寄生体二极管，可以有效降低功耗。当检测到零电流时，同步整流被关断，以防止负载电流反向。

混合衰减模式

H 桥工作在混合衰减模式；如下图所示，当电流达到限流值时，进入快速衰减模式，持续时间为整个衰减模式的 30.1% (t_{FD})，然后系统进入慢速衰减模式。在快衰减与慢衰减转换期间，驱动器会被关断 600ns（死区时间），此设置可以有效防止桥穿通现象。如下图 1、图 2 所示，在死区时间，同步整流不再起作用，芯片只工作在快速和慢速衰减模式下。

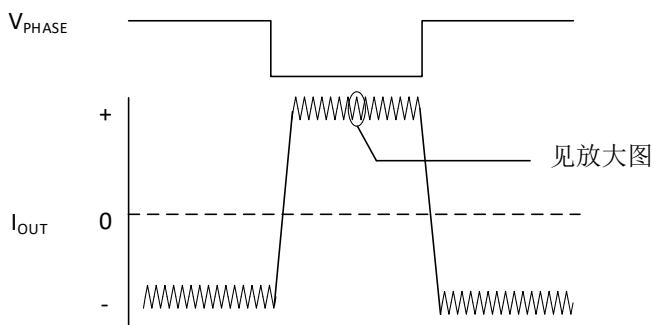


图 1. 混合衰减模式图

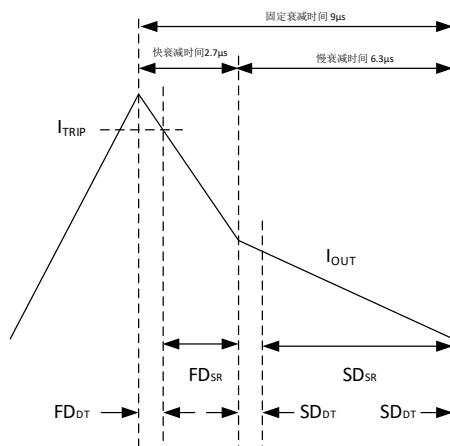


图 2. 混合衰减模式放大图

数模转换器 DAC

通过 I²C 数字接口 CLK，DATA 输入 11bit 的数据，其中 8bit 是作为 DAC 的输入，经 DAC 以及放大器后，转换成电流比较器的基准电压 V_{DACOUT1234}；编程输入不同的数字序列，得到不同的 H 桥的输出电流。比如：编程使得 DAC 第一通道的 V_{DACOUT1} 按照半波的 sinx 变化，第二通道的 V_{DACOUT2} 按照半波的 cosx 变化，两个通道组合可以控制步进电机平稳转动。

1. 电阻串型 DAC

MS3999 DAC 由 4 路电阻串型 DAC 实现，每一路 DAC 的核心是带 256 个抽头的电阻，表 1 是每个抽头处的电平和对应的 256 个数字码的对应关系。电阻串中，电阻的一端连接 GND，另一端连接输入缓冲器的输出端。电阻串保证了单调性。线性度由电阻串的匹配精度和输出缓冲器的性能决定。参考电压输入缓冲器时，DAC 对于参考源可以视为一个高阻抗的负载。每个 DAC 的输出均由增益可配置的运算放大器缓冲，选择 1 倍或 2 倍增益输出。电路上电时，DAC 的数字输入端被置为全 0。每个 DAC 的输出电压用下列公式表示：

$$V(\text{DACOUT1}|\text{2}|\text{3}|\text{4}) = \text{REF} \times \frac{\text{CODE}}{256} \times (1 + \text{RNG})$$

CODE 的范围是 0~255，范围控制位 RNG 是 0 或 1，它位于串行命令字中。

表 1. 理想传输特性

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	输出电平
0	0	0	0	0	0	0	0	GND
0	0	0	0	0	0	0	1	$(1/256) \times \text{REF}(1 + \text{RNG})$
.
.
0	1	1	1	1	1	1	1	$(127/256) \times \text{REF}(1 + \text{RNG})$
1	0	0	0	0	0	0	0	$(128/256) \times \text{REF}(1 + \text{RNG})$
.
.
1	1	1	1	1	1	1	1	$(255/256) \times \text{REF}(1 + \text{RNG})$

2. 工作时序

MS3999 有 4 种可供选择的控制方式，分别如图 3-图 6 所示。

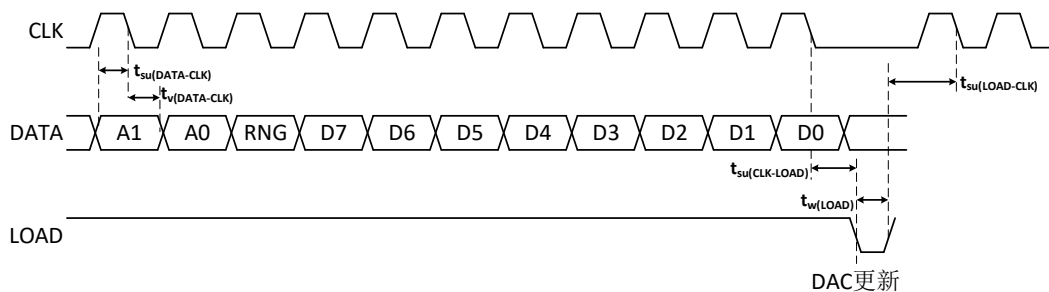


图 3. LOAD 控制的输出更新(LDAC=Low)

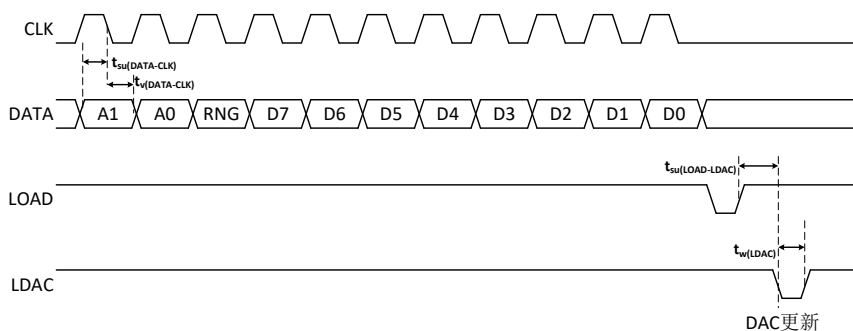


图 4. LDAC 控制的输出更新

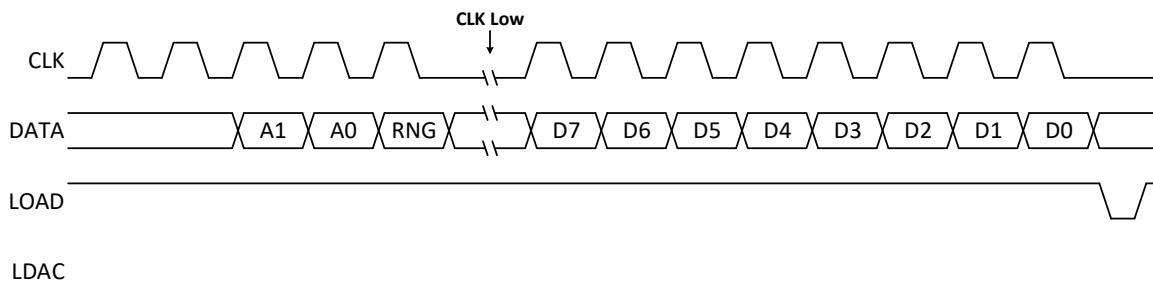


图 5. LOAD 控制的输出更新，使用 8 位串行命令字(LDAC=Low)

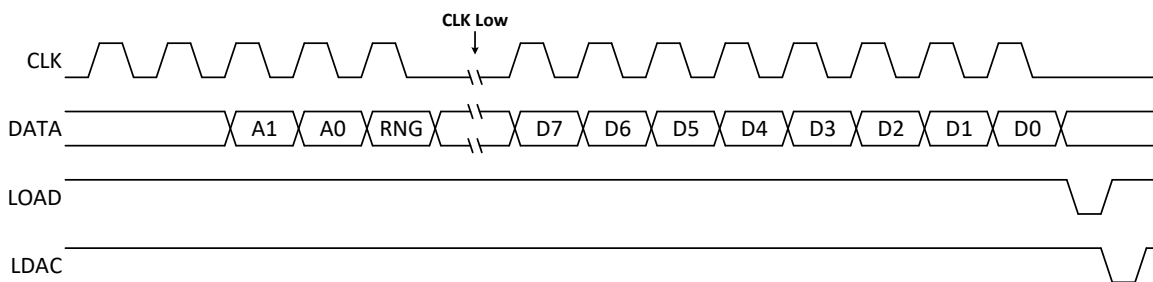


图 6. LDAC 控制的输出更新，使用 8 位串行命令字

当 LOAD 为高时，在 CLK 的下降沿，DATA 引脚上的数据被写入锁存器。一旦所有的数据被锁存，LOAD 被拉低，数据从串行输入寄存器中传送到被选择的那一路 DAC 进行工作，如图 3 所示。当 LDAC 为低时，在 LOAD 变为低电平时，DAC 的输出电压立即被更新。在串行数据写入过程中，当 LDAC 为高时，新的数据被锁存，只有在等待 LDAC 被拉低时，才进行数模转换，如图 4 所示。最高有效位(MSB)首先被写入，数据转换过程需要 8 个时钟周期，如图 5 和图 6 所示。表 2 列出了定时关系。

表 2. MS3999 DAC 的时序关系

参数	最小值	典型值	最大值	单位
CLK 频率			10	MHz
建立时间，数据输入， $t_{su}(DATA-CLK)$ （见图 3 和图 4）	50			ns
有效时间，数据输入有效在 CLK↓后， $t_v(CLK_LOAD)$ （见图 3 和图 4）	50			ns
建立时间，CLK 下降沿到 LOAD， $t_{su}(CLK-LOAD)$ （见图 3）	50			ns
建立时间，LOAD 个到 CLK↓， $t_{su}(LOAD-CLK)$ （见图 3）	50			ns
脉冲宽度，LOAD， $t_w(LOAD)$ （见图 3）	250			ns
脉冲宽度，LDAC， $t_w(LDAC)$ （见图 4）	250			ns
建立时间，LOAD 个到 LDAC↓， $t_{su}(LOAD-LDAC)$ （见图 4）	0			ns

表 3 列举了 A1 和 A0 对应的 DAC 通路的选择。RNG 位控制输出电压的范围。当 RNG = Low 时，输出电压的范围介于参考电压和地之间。当 RNG = High，输出电压的范围介于 2 倍的参考电压和地之间。

表 3. 串行输入译码

A1	A0	选择 DAC 通道
0	0	DAC1
0	1	DAC2
1	0	DAC3
1	1	DAC4

步进电机细分控制

以下以 1, 2 通道为例, 3, 4 通道类同。

使用两通道 H 桥, 结合两路 DAC, 两个方向控制 PHASEx 脚, 可以实现微步进的步进电机控制。

下面是控制的时序图, 其中 DACout1,2 为数字控制的 DAC 的输出, Ia, Ib 为步进电机两相电流:

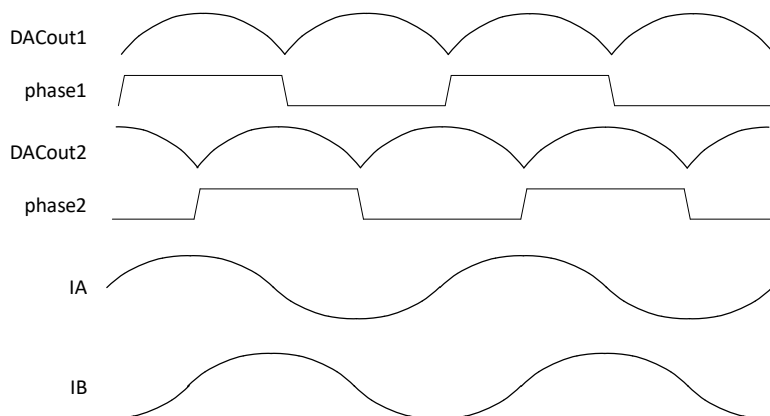
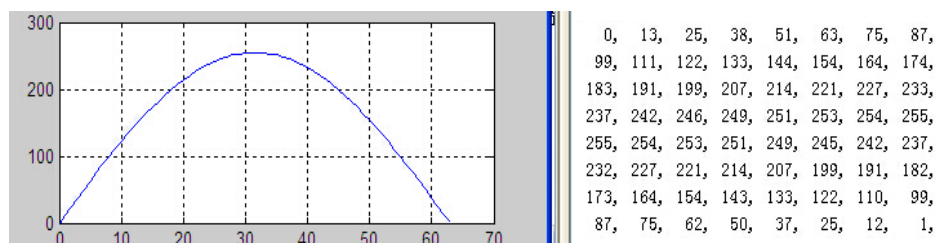


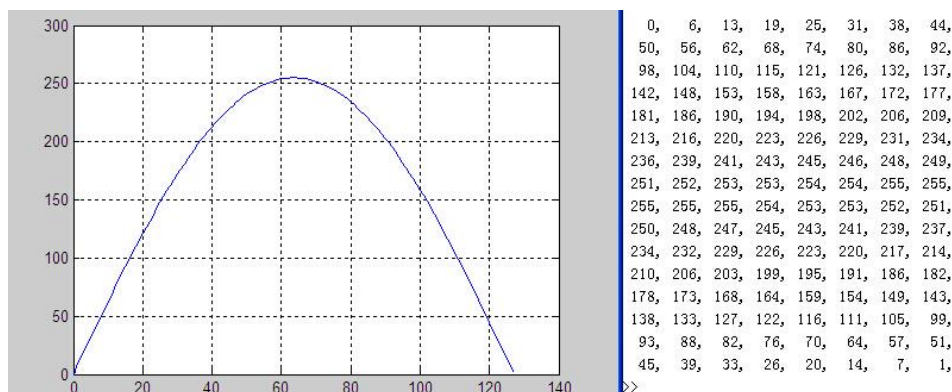
图 7. 步进电机细分控制示意图

DACOUT1 与 DACOUT2 电压通过数字编程控制 DAC 的输入实现: 32、64、128、256 微步。步进细分的 sin 半波的 DAC 输入数字序列可参考如下表格 (cos 半波相移 $\pi/2$), 使用时转换为 8bit 的 2 进制在 DATA 管脚串行输入:

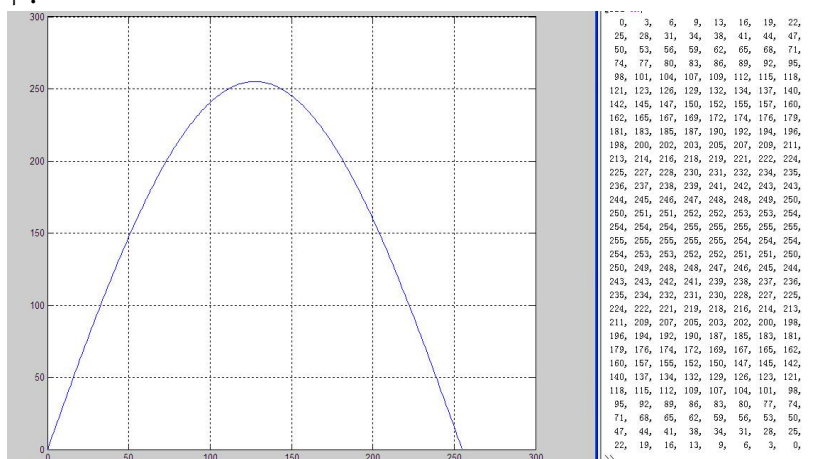
32 步进细分如下:



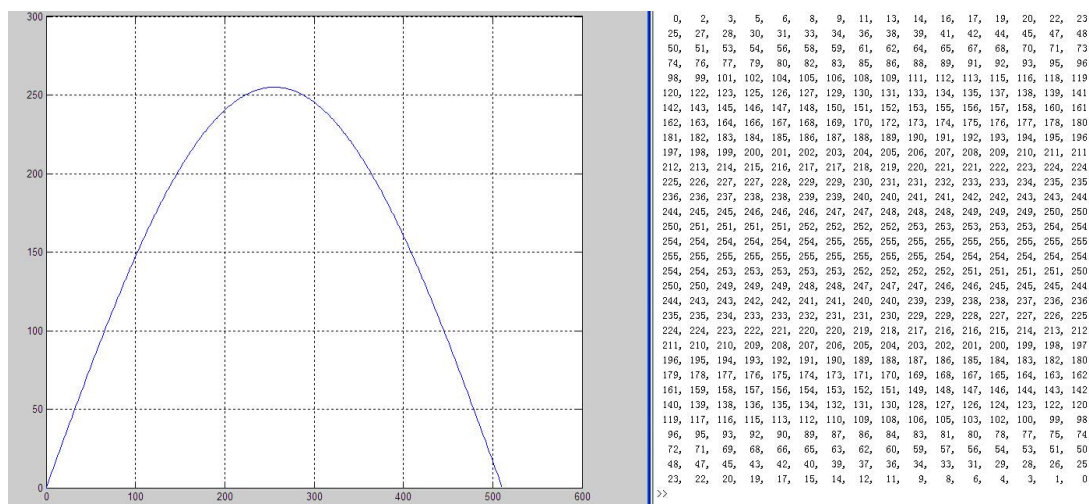
64 步进细分如下:



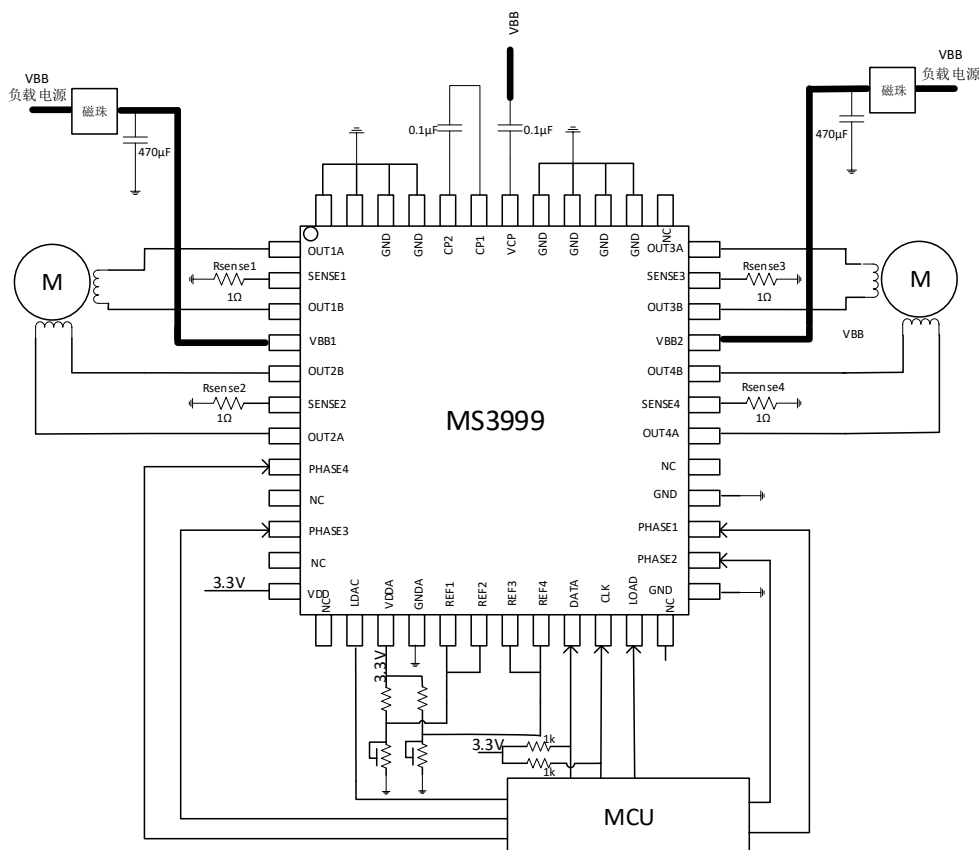
128 步进细分如下:



256 步进细分如下:



典型应用图



直流电机控制

芯片集成四路 H 桥驱动，每路都设置了独立的 PWM 电流控制电路，所以可以驱动四个 1.2A 电流的直流电机。应用中可以通过 4 个通道的 DAC 分别控制电流，PHASE 脚来控制电机的正转、反转。

版图制作

印刷电路板需要使用厚地板。为了获得更好的性能与散热，MS3999 最好能直接焊接在板上。MS3999 的背面是金属散热片，直接焊在 PCB 外露板上，可以将热量发散到其他层。

版图地线

为了减小地电位漂移问题，须在 PCB 板中靠近芯片的位置，设置一个单点低阻的特殊地线。一般，MS3999 的散热片与 PCB 板的接触地线位置是理想的特殊地线位置。

低阻的特殊地线可以有效防止地电平漂移和保证电源电压的稳定性。

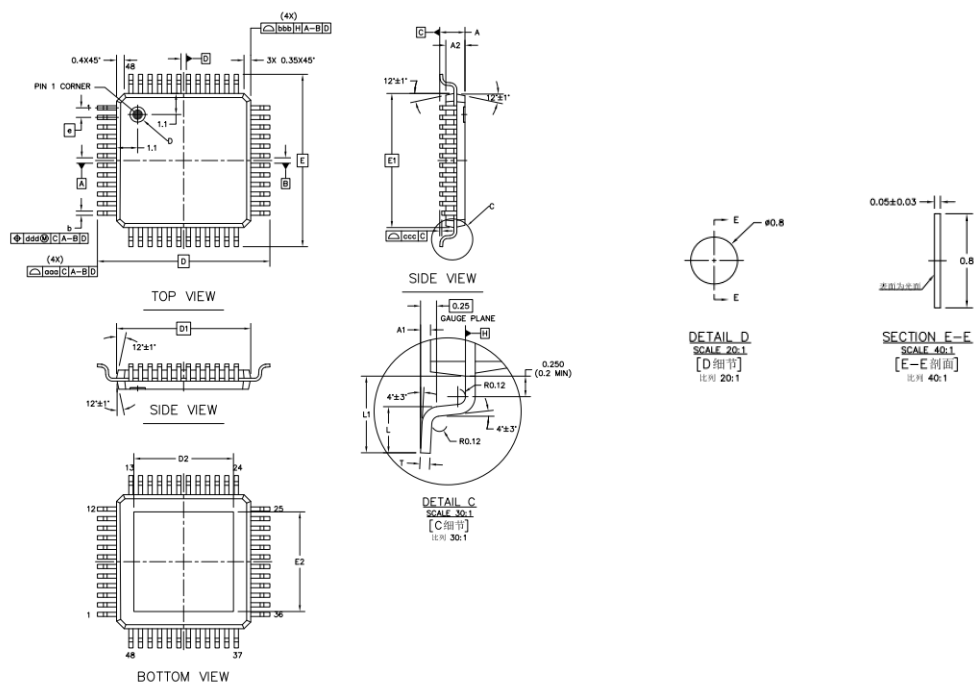
SENSE 脚设置

Sense 脚电阻 RS_x 必须通过一个低阻的通路到地线，因为 RS_x 会流过太大电流，并且产生一个精确的反馈电压到 Sense 比较器。长的地线会产生额外电阻，形成不确定的电压降，降低 Sense 比较器的精度。

当选择 Sense 电阻时，注意保证工作中 Sense 脚的电压不要超过 $\pm 500\text{mV}$ 。

封装外形图

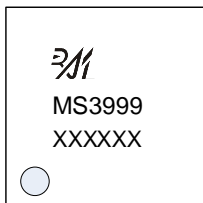
TQFP48



符号	尺寸（毫米）		
	最小值	典型值	最大值
A	-	-	1.20
A1	0.05	0.10	0.15
A2	0.95	1.00	1.05
b	0.19	-	0.26
T	0.09	-	0.20
e	0.5BSC		
L	0.5	0.6	0.7
L1	1.0REF		
D	9BSC		
E	9BSC		
D1	7BSC		
E1	7BSC		
D2	5.1	5.2	5.3
E2	5.1	5.2	5.3
aaa	0.2		
bbb	0.2		
ccc	0.08		
ddd	0.08		

印章与包装规范

1. 印章内容介绍



产品型号：MS3999

生产批号：XXXXXX

2. 印章规范要求

采用激光打印，整体居中且采用 Arial 字体。

3. 包装规范说明

型号	封装形式	颗/盘	盘/盒	颗/盒	盒/箱	颗/箱
MS3999	TQFP48	250	10	2500	4	10000

声明

- 瑞盟保留说明书的更改权，恕不另行通知！客户在下单前应获取最新版本资料，并验证相关信息是否完整。
- 在使用瑞盟产品进行系统设计和整机制造时，买方有责任遵守安全标准并采取相应的安全措施，以避免潜在失败风险可能造成的人身伤害或财产损失！
- 产品提升永无止境，本公司将竭诚为客户提供更优秀的产品！



MOS电路操作注意事项

静电在很多地方都会产生，采取下面的预防措施，可以有效防止 MOS 电路由于受静电放电的影响而引起的损坏：

- 1、操作人员要通过防静电腕带接地。
- 2、设备外壳必须接地。
- 3、装配过程中使用的工具必须接地。
- 4、必须采用导体包装或抗静电材料包装或运输。



+86-571-89966911



杭州市滨江区伟业路 1 号
高新软件园 9 号楼 701 室



[http:// www.relmon.com](http://www.relmon.com)