

2013 年 4 月

SI-7321M 应用手册

Ver. 4.2

部门名称

MCD 事业部低压电机组

本手册总结了 2 相步进电机单极驱动器 SI-7321M 的相关信息。
本手册中所涉及的部分产品尚在研发中，有关内容并未最终确定。
关于最新信息，请咨询我公司相关部门。

(目录)

1. 前言	P.2
2. 特点	P.2
3. 产品规格	P.3
4. 参考电压 V_{REF} 的可设定范围	P.6
5. 降额图	P.6
6. 回流焊温度曲线推荐	P.7
7. 外形图&标记形状	P.8
8. 包装规格	P.9
9. 内部方框图&Pin 排列	P.11
10. 应用电路示例	P.12
11. 真值表	P.13
12. 关于逻辑输入端子	P.14
13. 逻辑输入定时	P.15
14. 励磁时序	P.17
15. 电路构成 (个别电路)	P.23
16. 功能说明	P.25
17. 使用注意事项	P.32
18. 热设计资料	P.37
19. 典型特性示例	P.38

1. 前言

衷心感谢大家长期以来对我公司 2 相步机电机单极驱动器各系列产品的大力支持。此次，将首次发售“SI-7321M”。

本手册汇总了“SI-7321M”的相关信息。

2. 特点

- 主电源电压 $V_{BB}=46V(\text{max})$ ，实际使用：10V~44V
- 支持 Logic 电源电压 $V_{DD}=3V\sim 5.5V$
- 输出电流 $I_o(\text{max})$: 1.5A
- 支持时钟输入驱动（内置时序发生器）
支持微步距（2 相励磁~4W1-2 相励磁）
- **采用“HSOP40”封装 (NEW)**
- 采用 OFF 时间固定的自励式 PWM 电流控制
→ 支持微步距的产品将根据电流的设定比率自动分 3 段切换 OFF 时间
- **搭载降低 PWM OFF 时损耗的电路（同步整流电路）**
- 搭载同步 PWM 功能，可避免电机在保持状态下发出噪声
- 搭载休眠功能，可降低待机时驱动器的消耗电流
- **内置电机线圈开路/短路的“保护电路”(NEW) ... 正在申请专利**
→ 可通过外部逻辑设定选择是否使用保护电路
- **可通过外部设定选择消隐时间 (NEW)**
- **可从“POS”和“POS/NEG”中选择时序发生器动作的 Clock 边缘 (NEW)**

3. 产品规格

表 3-1 绝对最大额定规格 (Ta=25°C)

项 目	符号	规格值	单位	备注
电机电源电压	V _M	46	V	
主电源电压	V _{BB}	46	V	
逻辑电源电压	V _{DD}	6	V	
输出电流	I _o	1.5	A	不含 Tw<1μs
逻辑输入电压	V _{IN}	- 0.3 ~ V _{DD} +0.3	V	
REF 输入电压	V _{REF}	- 0.3 ~ V _{DD} +0.3	V	
检测电压	V _{RS}	±2	V	不含 Tw<1μs
允许损耗	P _D	3.5 [※]	W	使用三垦评价基板
结温	T _j	150	°C	
工作环境温度	T _a	- 20 ~ 80	°C	
保存温度	T _{stg}	- 30 ~ 150	°C	

※允许损耗 P_D 会受到所用基板的布线布局影响。

表 3-2 推荐工作范围

项 目	符号	规格值		单位	备注
		Min	Max		
电机电源电压	V _M		44	V	
主电源电压	V _{BB}	10	44	V	
逻辑电源电压	V _{DD}	3.0	5.5	V	V _{DD} 浪涌电压请控制在 ±0.5V 以下。
REF 输入电压	V _{REF}	0.04	1.0	V	未使用保护功能时
		0.04	0.5	V	使用保护功能时
外壳 (Case) 温度	T _c		85	°C	标记面封装中央

表 3-3 电气特性

无特殊情况时, 条件为 $T_a=25^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{BB}}=24\text{V}$, $V_{\text{DD}}=5\text{V}$

项目	符号	额定值			单位	条件
		Min.	Typ.	Max.		
主电源电流	I_{BB}			15	mA	工作时
	I_{BBS}			100	μA	Sleep1&Sleep2 时
逻辑电源电流	I_{DD}			5	mA	
输出 MOSFET 耐压	V_{DSS}	100			V	$V_{\text{BB}}=44\text{V}$, $I_{\text{D}}=1\text{mA}$
输出 MOS FET ON 电阻	$R_{\text{DS(on)}}$		0.25	0.4	Ω	$I_{\text{D}}=1.5\text{A}$
输出 MOSFET Di 正向电压	V_{F}		0.95	1.2	V	$I_{\text{F}}=1.5\text{A}$
最大响应频率	f_{clk}	250			KHz	Clock Duty=50% 时 POS 边缘时
逻辑输入电压	V_{IL}			$0.25V_{\text{DD}}$	V	
	V_{IH}	$0.75V_{\text{DD}}$			V	
逻辑输入电流	I_{IL}		± 1		μA	
	I_{IH}		± 1		μA	
REF 输入电压	V_{REF}	0.04		1.5	V	未使用保护功能时※1
		0.04		0.6	V	使用保护功能时※1
	V_{REFS}	2.0		V_{DD}	V	输出 (OFF) Sleep1 ※2
REF 输入电流	I_{REF}		± 10		μA	
SENSE 检测电压	V_{SENSE}		0.2		V	$V_{\text{REF}}=0.2\text{V}$ Mode F
SENSE 电流	I_{SENSE}		± 10		μA	
过电流检测电压	V_{OCP}	0.65	0.7	0.75	V	电机线圈短路时 $V_{\text{SENSE}} \cong V_{\text{OCP}}$
负载断线未检测时间	t_{top}	1.5	2	2.5	μs	从 PWM 关闭开始
逻辑输出电压	V_{FlagL}			1.25	V	$I_{\text{FlagL}}=1.25\text{mA}$
	V_{FlagH}	$V_{\text{DD}}-1.25$			V	$I_{\text{FlagH}}=-1.25\text{mA}$
逻辑输出电流	I_{FlagL}			1.25	mA	
	I_{FlagH}	-1.25			mA	
Sleep - Enable 恢复时间	t_{SE}	100			μs	Sleep1 & Sleep2
开关时间	t_{con}		2.0		μs	Clock \rightarrow Out ON
	t_{coff}		1.5		μs	Clock \rightarrow Out OFF

※1 V_{REF} 设定范围根据是否使用保护功能而不同。详情请参考第 6 页的“4. 参考电压 V_{REF} 的可设定范围”。※2 Sleep1 的状态变为“ I_{BBS} ”, “输出: OFF”, “时序发生器: **Enable**”

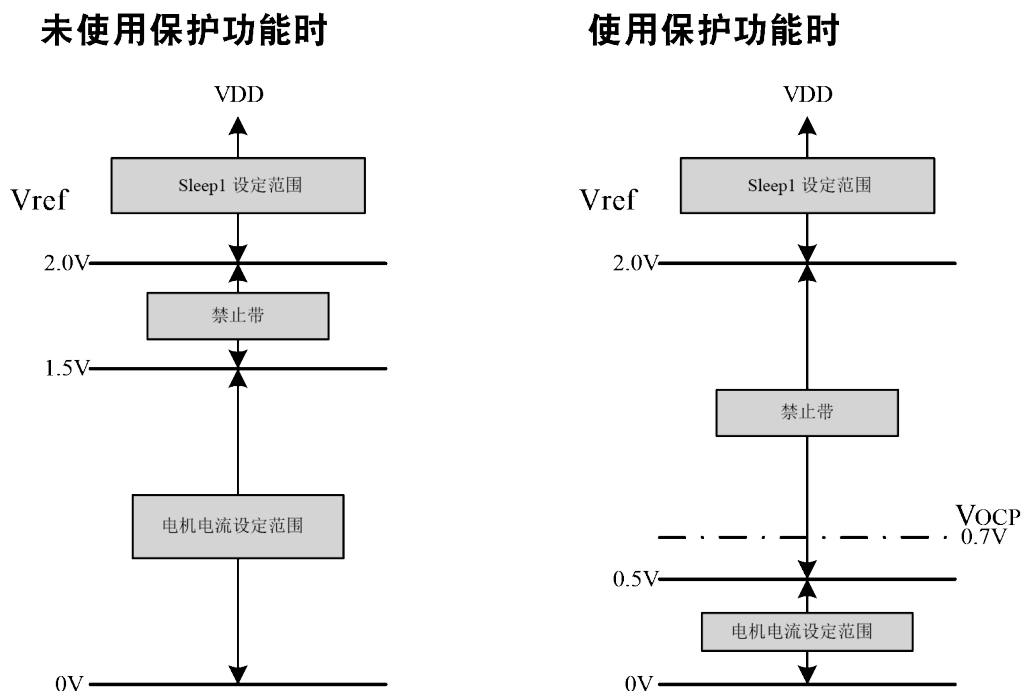
无特殊情况时，条件为 $T_a=25^{\circ}\text{C}$ ， $V_{\text{BB}}=24\text{V}$ ， $V_{\text{DD}}=5\text{V}$

项目	符号	额定值			单位	条件
		Min.	Typ.	Max.		
参考电压分割比	ModeF		100		%	$V_{\text{REF}}=V_{\text{SENSE}}=100\%$ $V_{\text{REF}}=0\text{V}\sim 1.0\text{V}$
	ModeE		98.1			
	ModeD		95.7			
	ModeC		92.4			
	ModeB		88.2			
	ModeA		83.1			
	Mode9		77.3			
	Mode8		70.7			
	Mode7		63.4			
	Mode6		55.5			
	Mode5		47.1			
	Mode4		38.2			
	Mode3		29			
	Mode2		19.5			
Mode1		9.8		%		
逻辑输出电压	V_{MOL}			1.25	V	$I_{\text{MOL}}=1.25\text{mA}$
	V_{MOH}	$V_{\text{DD}}-1.25$			V	$I_{\text{MOH}}=-1.25\text{mA}$
逻辑输出电流	I_{MOL}			1.25	mA	
	I_{MOH}	-1.25			mA	
PWM 最小导通时间	$t_{\text{on}(\text{min})}$		1.8		μs	B_SEL: L
			3.6		μs	B_SEL: H
PWM 关断时间	$t_{\text{off}1}$		13		μs	Mode8 ~ ModeF
	$t_{\text{off}2}$		9.5			Mode4 ~ Mode7
	$t_{\text{off}3}$		7.5			Mode1 ~ Mode3

4. 参考电压 V_{REF} 的可设定范围

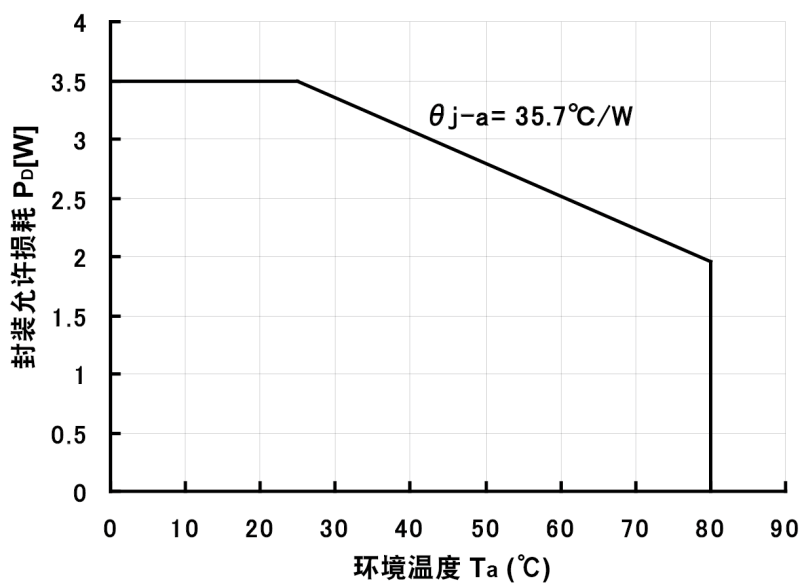
是否使用保护功能，会影响参考电压 V_{REF} 的设定范围。

原因在于，过电流保护功能 (OCP) 的检测电平已对应检测电压 V_{SENSE} 设定为 0.7V。



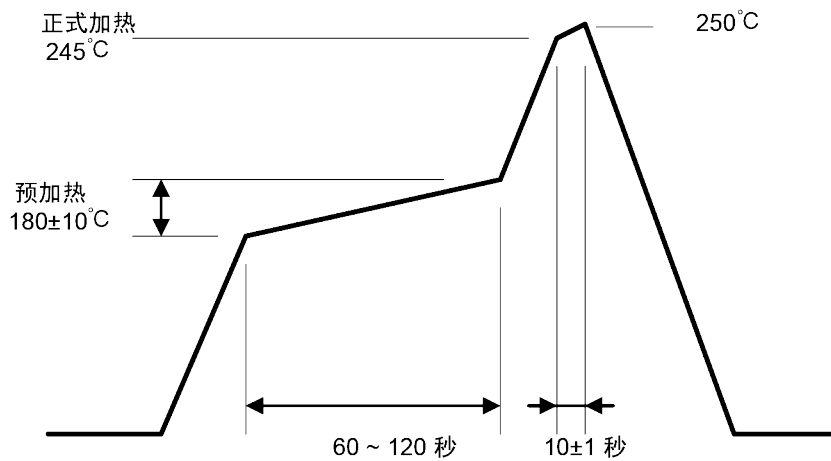
※ 将“电机电流设定范围” \leftrightarrow “Sleep1 设定范围”的阈值设定为约 1.75V。因此，在 $V_{REF} \leq 1.75V$ 时，由于驱动器会进行电流控制，请注意 V_{REF} 的设定。

5. 降额图：使用三星评估基板时



6. 焊接条件

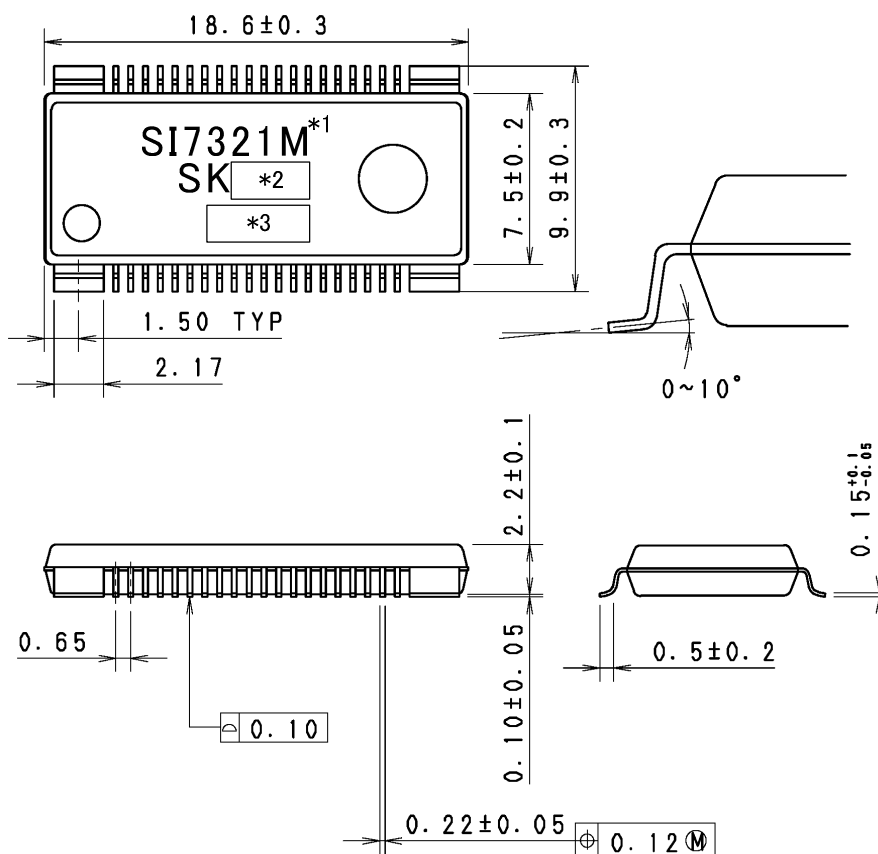
6-1 推荐回流焊温度



6-2 烙铁焊接建议温度

$380 \pm 10^\circ\text{C}$ 3.5 秒 以下

7. 外形图&标记形状



单位: mm

- 端子材质: Cu
- 端子处理: 镀镍+镀锡 (无铅)

*1. 品名标示
Type number

*2. 批号 (3 位)
Lot Number(three digit)
第 1 个字符 公历年份末尾数
1st letter The last digit of year
第 2 个字符 月
2nd letter Month

1~9 月: 阿拉伯数字
Arabic Numerals
10 月: O
11 月: N
12 月: D

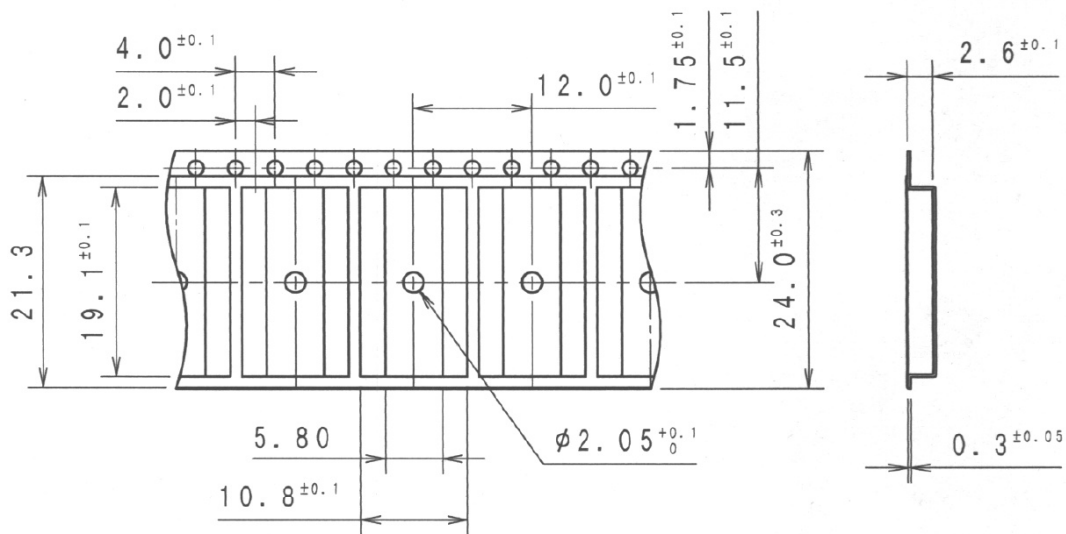
第 3 个字符 星期代码
3rd letter Week Code

1~3: 阿拉伯数字
Arabic Numerals

*3.管理编号 (4 位)
Control number(four digit)

8. 包装规格

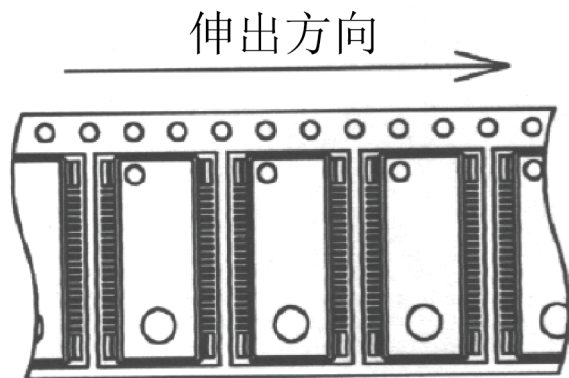
压纹带的各部分尺寸



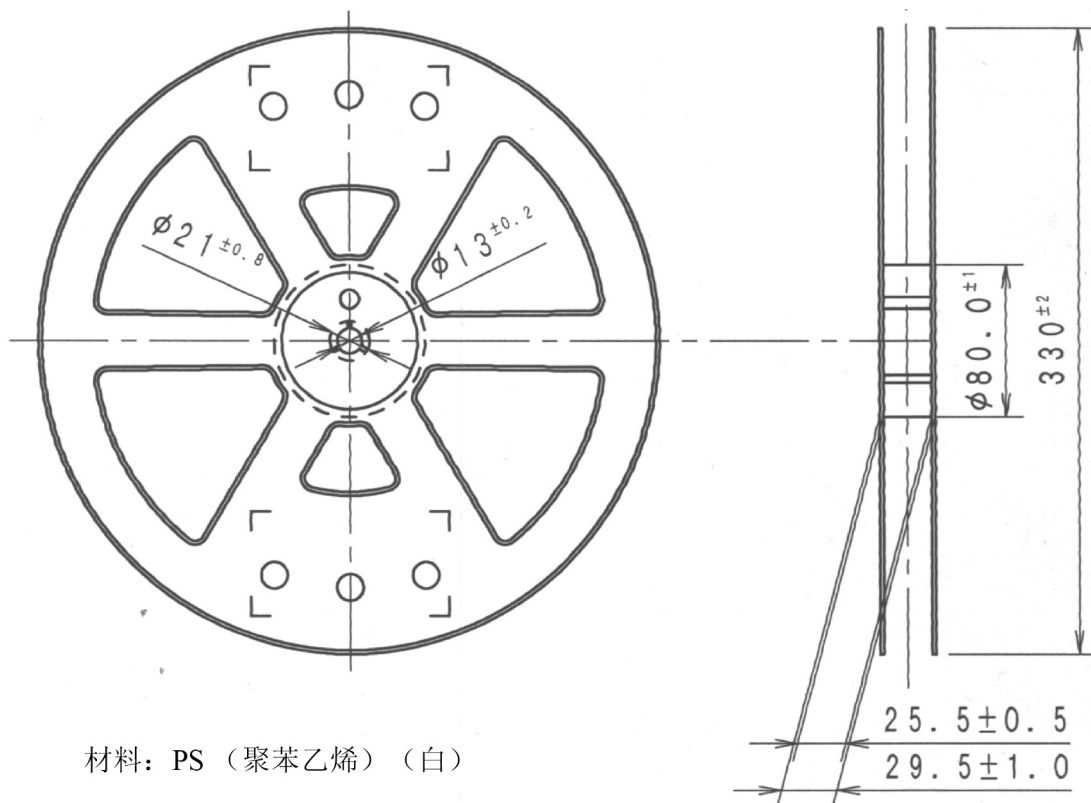
材料：A-PET

单位：mm

卷轮伸出方向



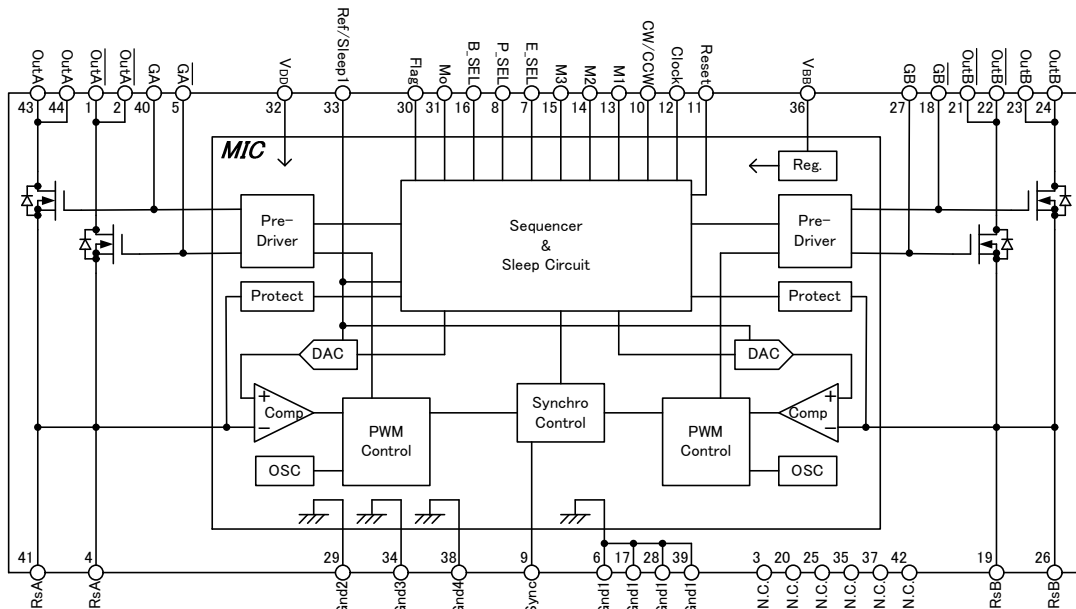
卷轮的各部分尺寸



单位: mm

9. 内部方框图 & Pin 排列

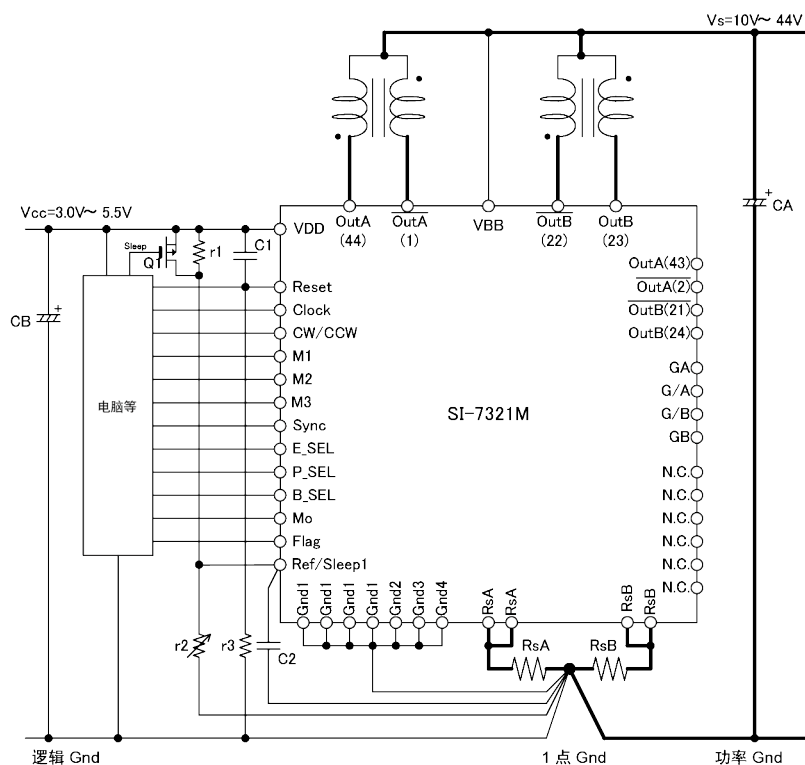
内部方框图



Pin 编号	符号	功能
1	Out/A	/A 相输出
2	Out/A	/A 相输出
3	N.C.	未连接引脚
4	RsA	A 相检测电阻连接引脚
5	G/A	/A 相 MOS FET 栅极
6	Gnd1	产品 Gnd1
7	E_SEL	边沿选择输入
8	P_SEL	保护功能使用选择输入
9	Sync	PWM 控制切换输入
10	CW/CCW	时序正转 / 反转切换输入
11	Reset	内部逻辑复位输入
12	Clock	Step Clock 输入
13	M1	励磁 / Sleep2 设定输入
14	M2	
15	M3	
16	B_SEL	消隐时间选择输入
17	Gnd1	产品 Gnd1
18	G/B	/B 相 MOS FET 栅极
19	RsB	B 相检测电阻连接引脚
20	N.C.	未连接引脚
21	Out/B	/B 相输出
22	Out/B	/B 相输出

Pin 编号	符号	功能
23	OutB	B 相输出
24	OutB	B 相输出
25	N.C.	未连接引脚
26	RsB	B 相检测电阻连接引脚
27	GB	B 相 MOS FET 栅极
28	Gnd1	产品 Gnd1
29	Gnd2	产品 Gnd2
30	Flag	保护电路监视输出
31	Mo	2 相励磁状态监视输出
32	VDD	逻辑电源
33	Ref/Sleep1	控制电流/Sleep1 设定输入
34	Gnd3	产品 Gnd3
35	N.C.	未连接引脚
36	VBB	主电源 (电机电源)
37	N.C.	未连接引脚
38	Gnd4	产品 Gnd4
39	Gnd1	产品 Gnd1
40	GA	A 相 MOS FET 栅极
41	RsA	A 相检测电阻连接引脚
42	N.C.	未连接引脚
43	Out A	A 相输出
44	Out A	A 相输出

10. 应用电路示例



参考常数

$$r1 = 10K\Omega \quad CA = 100\mu F/50V$$

$$r2 = 1K\Omega \text{ (VR)} \quad CB = 10\mu F/10V$$

$$r3 = 10K\Omega \quad C1 = C2 = 0.1\mu F$$

※检测电阻常数（损耗： $P \approx I_o^2 \times R_s$ ）

- 未使用保护电路时： $R_s = 0.1 \sim 0.68\Omega$ (3W)
- 使用保护电路时： $R_s = 0.1 \sim 0.33\Omega$ (2W)

※选择常数前请考虑过电流保护(V_{OCP})。

☆请特别注意 VDD 线的噪声。

VDD 线的噪声达到 0.5V 以上时，可能会导致产品误动作，因此，Gnd 布线时，请千万注意。

从检测电阻的 Gnd 处将 VDD 的 Gnd (S - Gnd) 和 VBB 的 Gnd (P - Gnd) 分开后有助于减少噪声。

☆对于不使用的逻辑输入引脚 (CW / CCW, M1, M2, M3, Reset, Sync, E_SEL, P_SEL, B_SEL)，请务必上拉/下拉到 VDD 侧或 Gnd 侧。在开路状态下使用时，产品出现误动作。

☆不使用逻辑输出 (Mo, Flag) 引脚时，请务必设定为开路。

11. 真值表

(1) 通用引脚

输入端子的逻辑请见表 11-1。

表 11-1 输入逻辑

引脚名	Low Level	High Level	Clock	
			POS Edge	W Edge
Reset	正常动作	逻辑复位	—	
CW / CCW	正转 (CW)	反转 (CCW)		
M1	励磁切换 (不含 Sleep2 动作) ※(2)参照			
M2				
M3				
Ref / Sleep1	正常动作	Sleep 模式 1	—	
Sync	非同步 PWM 控制	同步 PWM 控制	—	
E_SEL	W 边沿	POS 边沿	—	
P_SEL	保护: ON	保护: OFF	—	
B_SEL	消隐时间: 短	消隐时间: 长	—	

※本产品的 Reset 功能为非同步复位。

将 Reset 引脚设定成 High 电平，则内部逻辑电路会复位。

此时，如果 REF 为 Low 电平，则输出会在励磁原点被接通。

此外，Reset 信号无法控制输出 Disable，敬请注意。

※REF 引脚同时具备 PWM 电流控制用的参考电压输入和 Sleep (Sleep1) 2 种功能。

- $V_{REF} < 1.5V$ (Low 电平) 时，作为参考电压输入引脚发挥功能。
- $V_{REF} > 2.0V$ (High 电平) 时，输出全部变为 OFF (Disable) 状态。

此时，内部线性电路停止动作，主电源电流 I_{BB} 降低。但是，在此状态下，逻辑电路会变为动作(Enable) 状态。即，输入时钟信号后，内部时序开始动作 (Sleep1)。

※Sync 功能仅在 2 相励磁定时中有效。2 相励磁以外的定时，在控制 A 相和 B 相时，PWM 关断时间及设定电流不同，因此，可能会出现失衡的情况（通过 1 相励磁的点使用时，作为 Sync 的功能无效，但没有影响）。

2 相励磁的定时是指，A 相和 B 相的电流比率处于相同状态。

(2) 励磁切换 / Sleep2 引脚

表 11-2 表示设定励磁的引脚的逻辑。

表 11-2 励磁切换引脚逻辑

功能 (引脚名)			励磁模式
M1	M2	M3	
L	L	L	2 相励磁 (Mode 8 固定)
H	L	L	2 相励磁 (Mode F 固定)
L	H	L	1-2 相励磁 (二分之一)
H	H	L	1-2 相励磁 (Mode F 固定)
L	L	H	W1-2 相励磁 (四分之一)
H	L	H	2W1-2 相励磁 (八分之一)
L	H	H	4W1-2 相励磁 (十六分之一)
H	H	H	Sleep 模式 2

※Sleep 模式 2 (Sleep2) 与 Sleep 模式 1 相同, 输出 OFF (Disable) 及主电源电流下降。但是, 关于 Sleep2, 内部逻辑电路变为停止 (Hold) 状态。总之, 即使输入时钟信号, 内部时序发生器也不会前进。

此外, 从 Sleep 模式 2 恢复后, 在输入时钟之前, 需间隔 100 μ s 以上。

(3) 监视输出引脚

① 2 相励磁状态监视输出: MO

设有指示时序发生器位置的监视器引脚。

这是通过 2 相励磁时序发生器 (A 相和 B 相的电流比率相同) 输出 High 信号。

② 保护电路监视输出: Flag

在已选择使用保护功能的状态 (P_SEL: Low) 下, 驱动器在检测到异常时输出 High 信号。

下表 11-3 是 MO 和 Flag 的输出逻辑。

表 11-3 监视器输出逻辑

引脚名	Low Level	High Level
Mo	2 相励磁定时以外	2 相励磁定时
Flag	正常动作	保护电路动作

※在保护电路动作时, 输出变成 OFF 状态。

要恢复保护电路, 请重新接通逻辑电源。

12. 关于逻辑输入引脚

为提高逻辑输出 (Reset, Clock, CW/CCW, M1, M2, M3, Sync, E_SEL, P_SEL, B_SEL) 引脚的抗噪声能力, 备有低通滤波器 (LPF)。

此外, 由于各输入引脚构成为 CMOS 输入, 所以会处于高阻抗状态。

使用时, 请固定为 “Low 电平” 或 “High 电平”。

13. 逻辑输入定时

(1) 关于时钟信号

- a. 本产品的内部时序发生器逻辑电路通过时钟信号的上升沿或上升/下降边沿（W 边沿）进行动作。

时钟脉冲的宽度，请确保正脉冲及负脉冲各自在 $2\mu\text{s}$ 以上。

因此，时钟响应频率变成 250KHz 。

- b. 针对时钟沿的定时

需在时序发生器逻辑电路的时钟沿前后确定逻辑。

Clock 边沿包括 POS 边沿和 W 边沿两种可供选择。

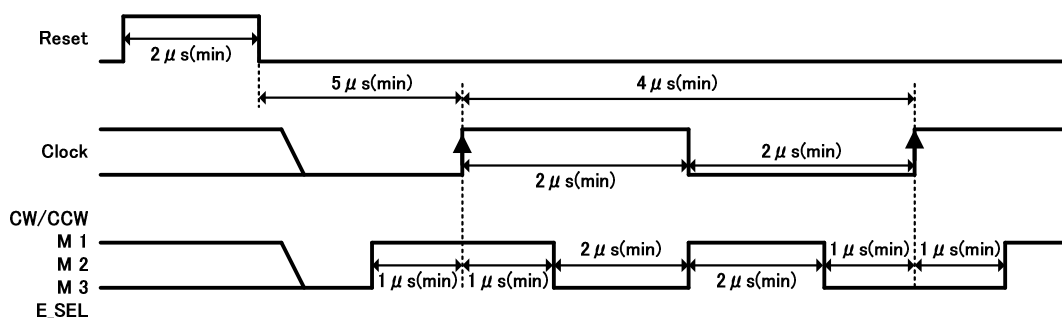
对于 CW/CCW, M1, M2, M3, E_SEL 引脚的输入逻辑，请根据各个型号在边沿的前后 $1\mu\text{s}$ 保持逻辑方式（参照图 13-1）。

这相当于设置及保持时间。

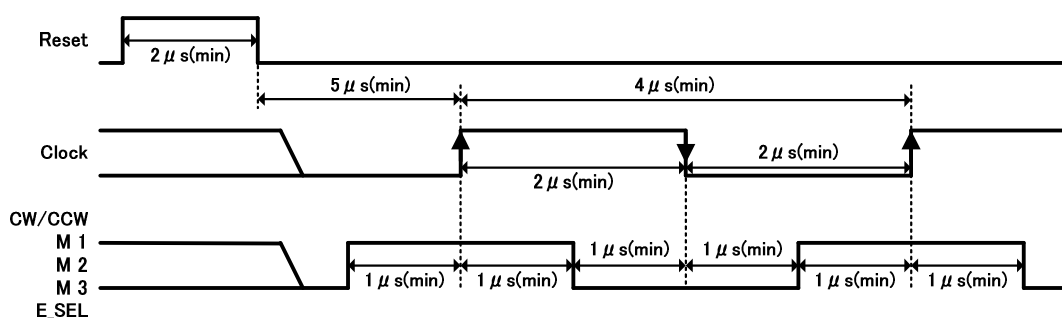
在此期间如果切换逻辑，时序发生器逻辑电路可能出现意外动作。

图 13-1 输入信号定时

选择 POS 边沿时



选择 W 边沿时



※从 Sleep 模式 1&2 恢复后，到输入时钟之前的时间，需间隔 $100\mu\text{s}$ 以上。

(2) 关于 Reset 信号

a. 关于 Reset 信号的脉冲宽度

Reset 脉冲宽度 (High 电平保持时间) 与时钟信号的脉冲宽度规定相同, 设定为 2 μ s 以上。

b. Reset 解除和时钟信号的定时

当 Reset 解除 (下降沿) 和 Clock 沿的变化定时变成同时时, 内部逻辑可能出现意外动作。因此, 解除 Reset 后, 如图 4 所示, 请设定 5 μ s 以上的时间, 再输入时钟信号。

(3) 关于旋转方向、励磁模式切换

本产品中, 基于 CW/CCW, M1, M2, M3 的旋转方向及励磁模式的设定在任何 Mode 状态下进行切换, 都会从下一 Clock 沿开始对应。

但是, 切换时电机的状态不同, 有可能无法追随意电机侧的动作, 导致失步等异常动作。

因此, 请针对切换的时序, 进行充分的评估。

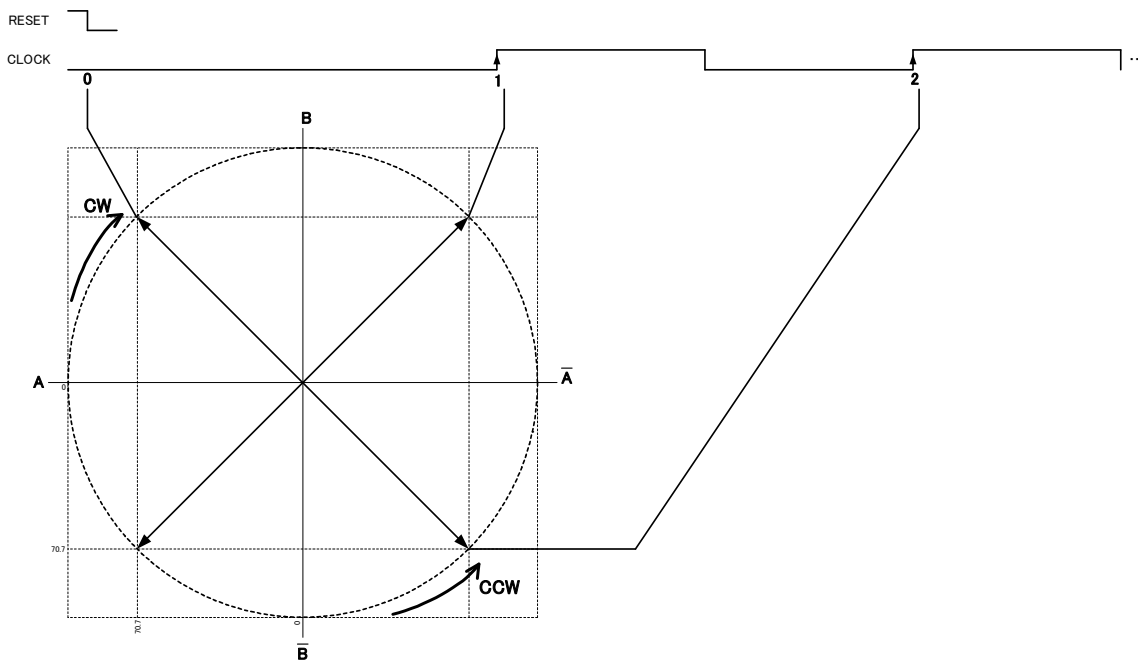
(4) 关于消隐时间和使用保护功能的选择

对于消隐时间和使用保护功能的选择, 建议请勿在驱动时切换, 而是在接通电源时设定。

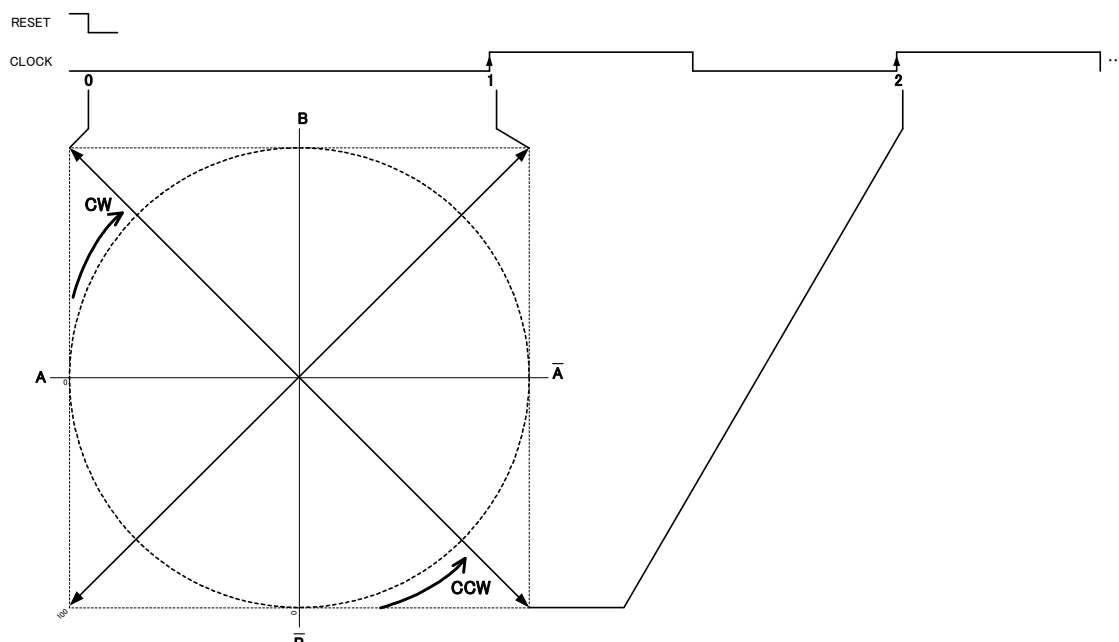
14. 励磁时序

图 14-1 2 相励磁 微步距对应品 全/半步距对应品

M1: L, M2: L, M3: L (电流 Mode: 8)



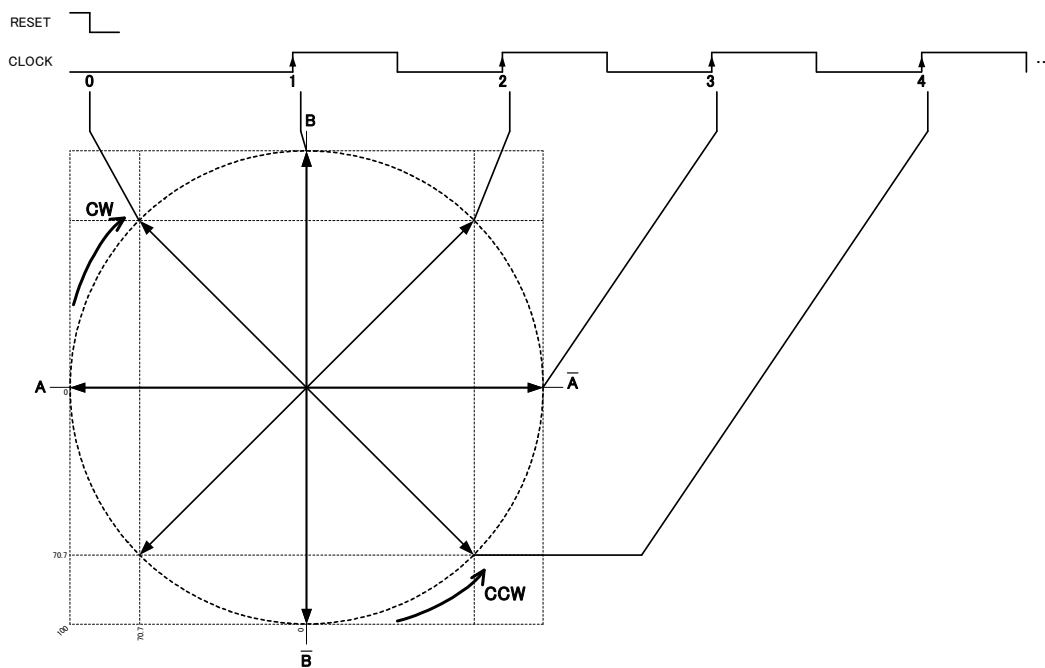
M1: H, M2: L, M3: L (电流 Mode: F)



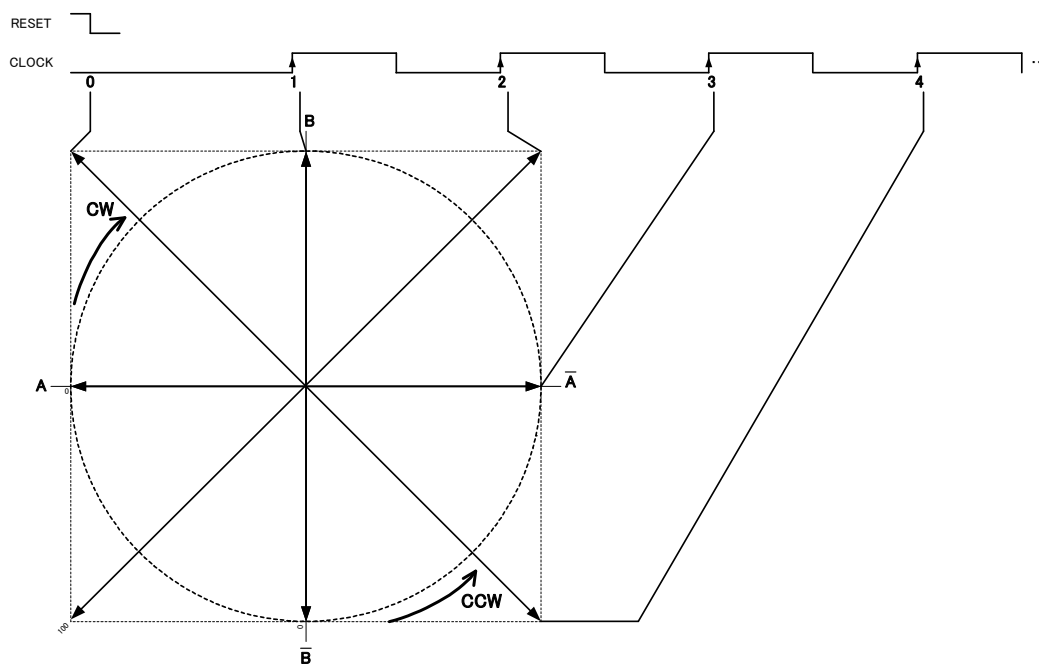
※所记载的内容表示针对基本的 Clock 输入的 POS 沿，时序前进的状态。
W 沿时，POS 沿和 NEG 沿两个边沿时序前进。

图 14-2 1-2 相励磁 支持微步距的产品 支持全/半步距的产品

M1: L, M2: H, M3: L (电流 Mode: 8,F)



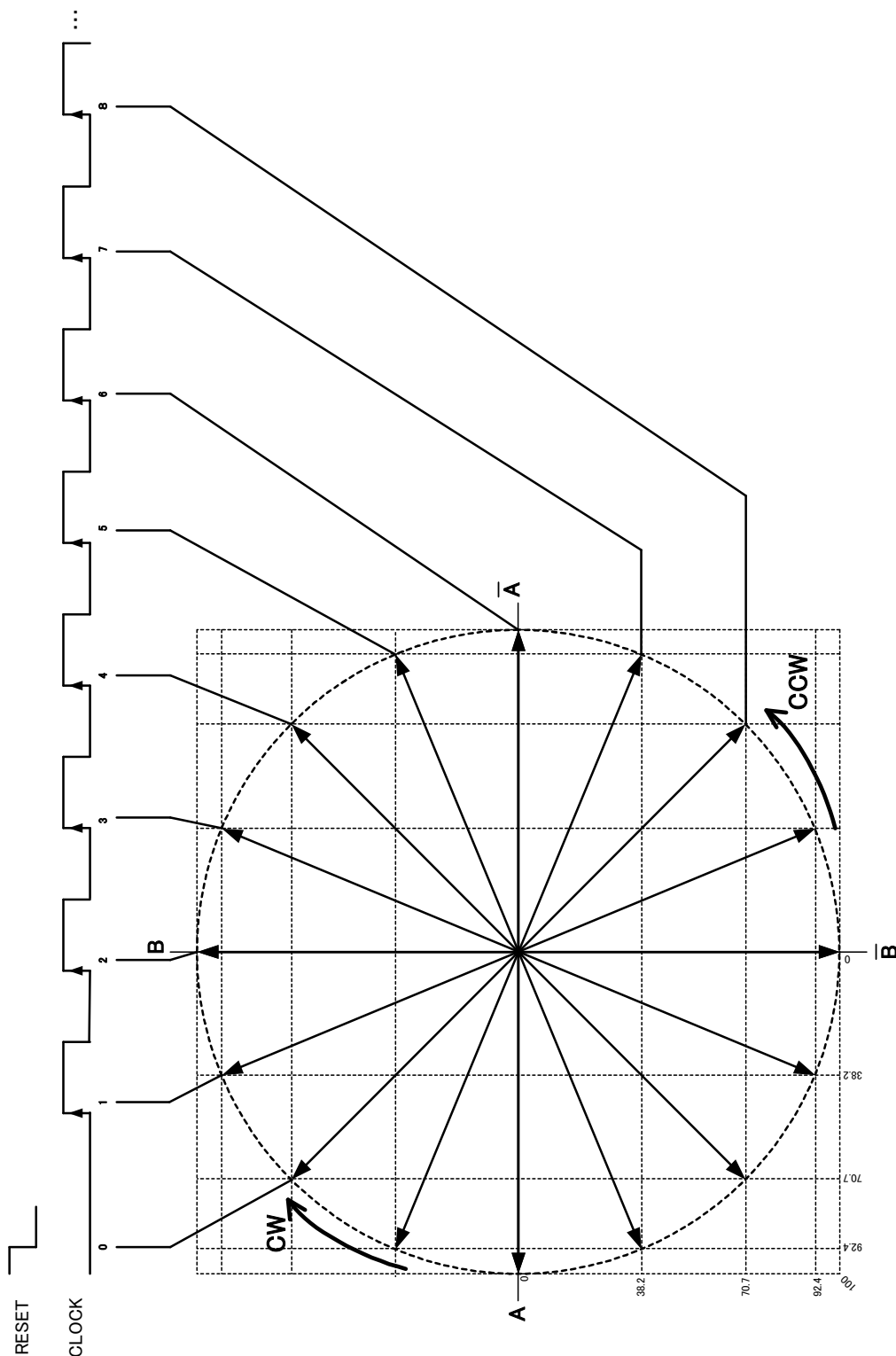
M1: H, M2: H, M3: L (电流 Mode: F)



※所记载的内容表示针对基本的 Clock 输入的 POS 沿，时序前进的状态。
W 沿时，POS 沿和 NEG 沿两个边沿时序前进。

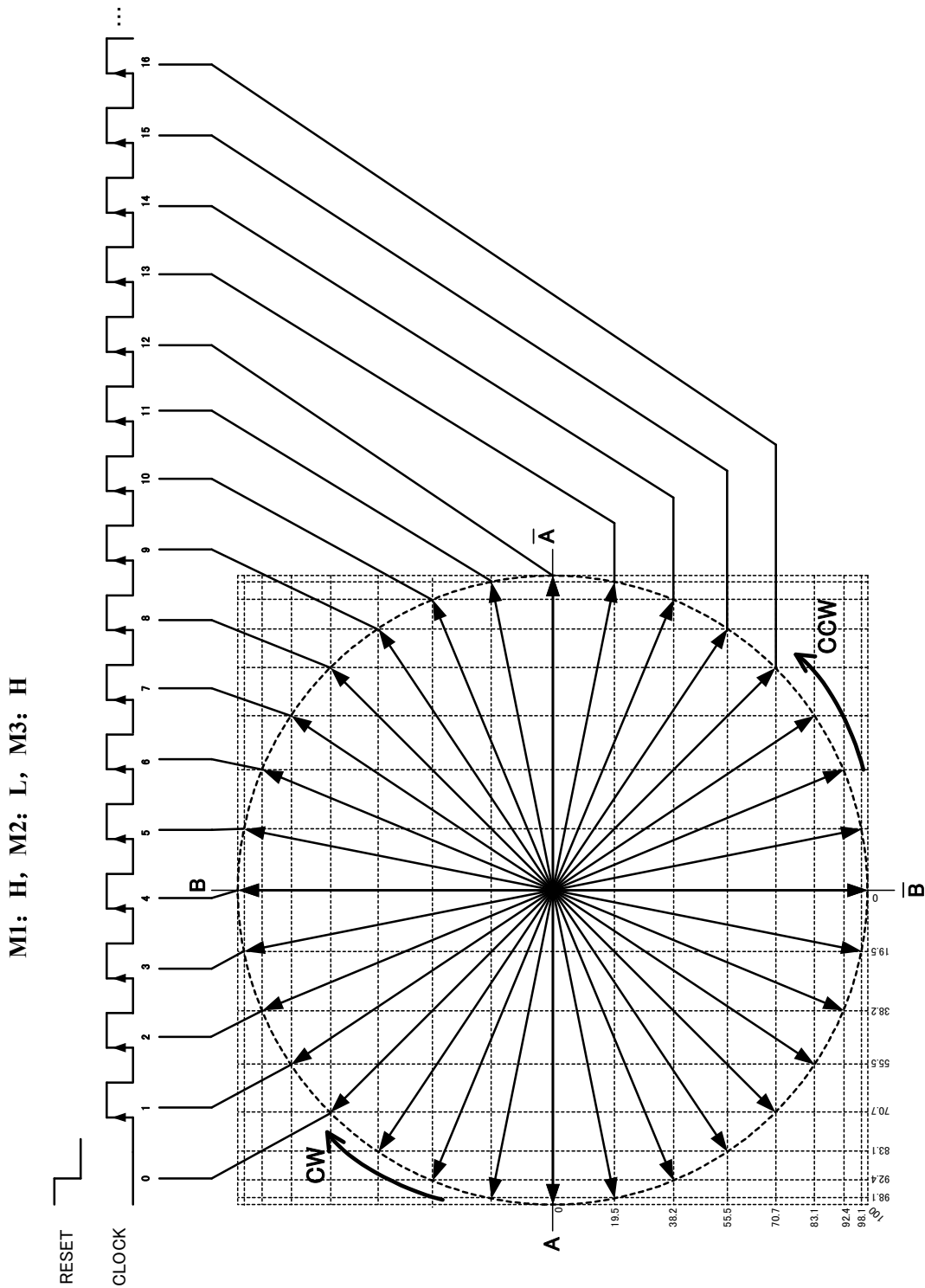
图 14-3 W1-2 相励磁 支持微步距的产品

M1: L, M2: L, M3: H



※所记载的内容表示针对基本的 Clock 输入的 POS 沿, 时序前进的状态。
W 沿时, POS 沿和 NEG 沿两个边沿时序前进。

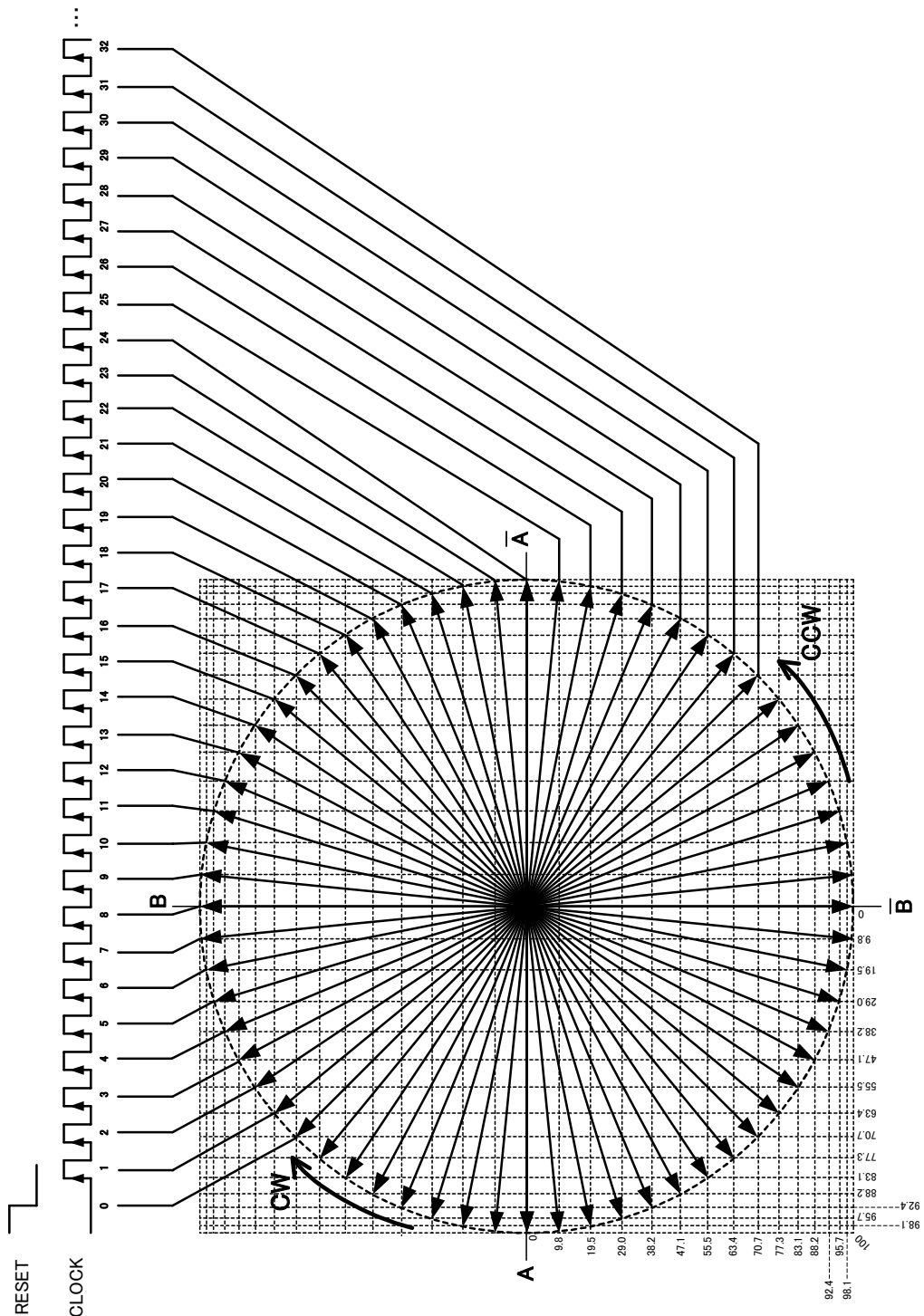
图 14-4 2W1-2 相励磁 支持微步距的产品



※所记载的内容表示针对基本的 Clock 输入的 POS 沿，时序前进的状态。
W 沿时，POS 沿和 NEG 沿两个边沿时序前进。

图 14-5 4W1-2 相励磁 支持微步距的产品

M1: L, M2: H, M3: H



※所记载的内容表示针对基本的 Clock 输入的 POS 沿, 时序前进的状态。
W 沿时, POS 沿和 NEG 沿两个边沿时序前进。

关于励磁切换

励磁的切换位置从励磁切换前的位置向励磁切换后最近的位置移动。

表 14-1 表示各励磁驱动方式的位置。

表 14-1 励磁模式状态

旋转方向	内部时序状态 ^{*1}				励磁驱动方式 ^{*2}						
	A 相侧		B 相侧		2 相		1-2 相		W1-2 相	2W1-2 相	4W1-2 相
	PWM	Mode	PWM	Mode	Mode 8	Mode F	Mode 8/F	Mode F			
↑ CCW	A	8	B	8	◎	◎	◎	◎	○	○	○
	A	7	B	9							○
	A	6	B	A						○	○
	A	5	B	B							○
	A	4	B	C					○	○	○
	A	3	B	D							○
	A	2	B	E						○	○
	A	1	B	F							○
	-	-	B	F			○	○	○	○	○
	/A	1	B	F							○
	/A	2	B	E						○	○
	/A	3	B	D							○
	/A	4	B	C					○	○	○
	/A	5	B	B							○
	/A	6	B	A						○	○
	/A	7	B	9							○
	/A	8	B	8	◎	◎	◎	◎	○	○	○
	/A	9	B	7							○
	/A	A	B	6						○	○
	/A	B	B	5							○
	/A	C	B	4					○	○	○
	/A	D	B	3							○
	/A	E	B	2						○	○
	/A	F	B	1							○
	/A	F	-	-			○	○	○	○	○
	/A	F	/B	1							○
	/A	E	/B	2						○	○
	/A	D	/B	3							○
	/A	C	/B	4					○	○	○
	/A	B	/B	5							○
	/A	A	/B	6						○	○
	/A	9	/B	7							○
	/A	8	/B	8	◎	◎	◎	◎	○	○	○
	/A	7	/B	9							○
	/A	6	/B	A						○	○
	/A	5	/B	B							○
	/A	4	/B	C					○	○	○
	/A	3	/B	D							○
	/A	2	/B	E						○	○
	/A	1	/B	F							○
	-	-	/B	F			○	○	○	○	○
	A	1	/B	F							○
A	2	/B	E						○	○	
A	3	/B	D							○	
A	4	/B	C					○	○	○	
A	5	/B	B							○	
A	6	/B	A						○	○	
A	7	/B	9							○	
A	8	/B	8	◎	◎	◎	◎	○	○	○	
A	9	/B	7							○	
A	A	/B	6						○	○	
A	B	/B	5							○	
A	C	/B	4					○	○	○	
A	D	/B	3							○	
A	E	/B	2						○	○	
A	F	/B	1							○	
A	F	-	-			○	○	○	○	○	
A	F	B	1							○	
A	E	B	2						○	○	
A	D	B	3							○	
A	C	B	4					○	○	○	
A	B	B	5							○	
A	A	B	6						○	○	
A	9	B	7							○	

※1 Mode 的表现依据 SLA7070M 系列。

※2 关于“◎”的点，实际的电流控制为 Mode F 的条件。

Mode F: 电流控制比率 100%，PWM 关断时间 14μs

15. 电路构成（个别电路）

(1)控制用单片集成电路（MIC）

- 时序发生器逻辑

采用 1 Clock 输入方式，正反转控制通过 CW / CCW 输入进行控制。

励磁模式通过 M1, M2, M3 的逻辑状态进行控制。

各引脚的逻辑及定时规定请参考别项中的真值表及逻辑输入定时。

- PWM Control

执行 OFF 时间固定的自励 PWM 电流控制。

通过内置振荡器 (OSC) 决定 PWM 关断时间。

此外，动作机制与现行的 SLA7070M 系列相同。

（详细动作请参考下一节）

- Synchro Control

避免发出噪音（电机保持时会发生）的斩波同步电路。通过将 Sync 引脚设定成 High 电平，产生可以使 A 相和 B 相的斩波 OFF 同步的定时信号。

动作机制与现行的 SLA7060M 系列相同，如果同步斩波功能在电机旋转时动作，可能会无法正常控制电机电流，导致转矩下降及振动增加。因此，不建议在旋转时使用本功能。

而且，即使在停止时，也建议只在 2 相励磁定时中使用本功能。

这是因为在 2 相励磁以外的定时中，由于电流控制值及 PWM 关断时间的差异，可能会出现不同步，或控制电流的平衡被完全打破。

- DAC

D / A 变换器电路。

执行微步驱动时，从时序发生器逻辑电路接收信号，将 REF 电压转换成规定的分割值。

关于转换的比率，请参考电气特性中的参考电压分割比。

- Reg 电路

输出 MOS FET 栅极驱动电路 (Pre-Drive) 及线性电路动作时所需电源的内部稳压器。

- Protect 电路

电机线圈的短路/开路保护电路。

保护动作是通过检测检测电阻 R_s 上产生的电压。

因此，无法检测 OUT 引脚及电流检测引脚与 Gnd 短路时的过电流。

此外，开路保护电路仅在 PWM 动作时才工作，因此，电机高速旋转时的定电压驱动时不工作。

保护电路工作后，输出变成 Disable，如要恢复，则需要重新接通逻辑电源。详情请参考下一项。

(2)功率 MOS FET

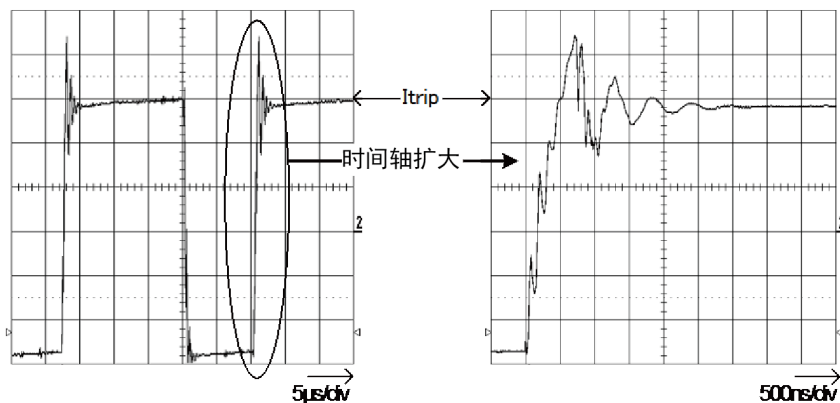
内置的 4 个功率 MOS FET 由 MIC 发出的信号控制，控制流经电机的电流。

16. 功能说明

① 关于消隐时间

图 16-1 表示实际驱动电机时，Sense 引脚发生的动作波形的观测示例。

图 16-1 PWM 斩波时 Sense 引脚波形示例



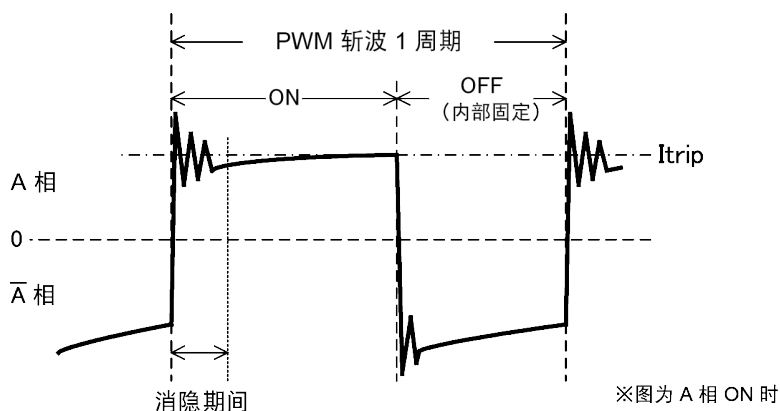
在 PWM 导通→关断后的数 μs 期间，可以确认 Sense 引脚上会发生尖峰状噪声（振铃噪声）。该振铃噪声是由“电机线圈中线间容量”、“电机配线的走向”等多种原因产生的。

电流控制是通过比较器对检测电压 V_{RS} 和 DAC 输出电压 V_{trip} 进行比较从而进行控制（PWM on→off）。

因此，上述 PWM 导通后，Sense 引脚发生的振铃噪声超过 V_{trip} 时，比较器会做出反应，PWM 关断（电机共振）。

在 PWM on 后一定期间内忽略来自比较器的电流检测信号，即设置“消隐时间”，防止该现象发生（图 16-2）。

图 16-2 PWM 控制时 SENSE 引脚波形模式图



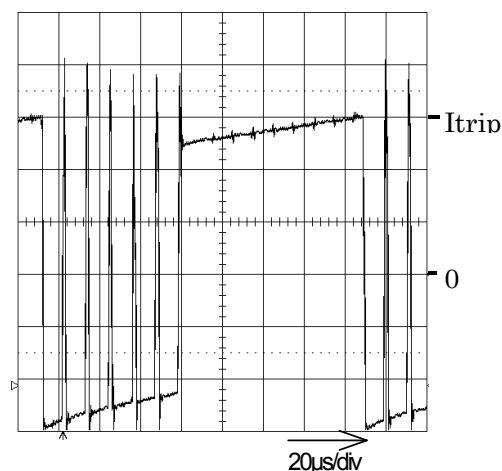
② 关于消隐时间和共振现象

虽然在微步距中设定较短的消隐时间可以提高电流控制性，但同时也会减弱抗振铃噪声的性能。因此，实际驱动电机时，可能会产生共振现象（图 16-3 就是产生共振现象时的波形示例）。

共振现象是产生“扭矩减小”和“噪声”的原因。

在消隐时间设定较短的状态下确认产生共振现象后，延长消隐时间可能会改善共振现象。

图 16-3 共振现象发生时 Sense 引脚波形示例



③ 关于消隐时间的差异

关注消隐时间差异，对特性进行对比，则如表 16-1 所示。

但是，两者对比的前提是电机、电机电源电压及 REF 输入等驱动条件、电路常数相同（即，对比时只更改产品，其它条件不变）。

表 16-1 消隐时间不同时的特性对比

对比项目	特性对比	
	短	长
PWM 最小导通时间	小 ← —————	
抗振铃噪声耐量	————— → 大	
最小线圈电流	小 ← —————	
高速旋转时的线圈电流 波形失真（主要是微步距）	————— → 大	

下面简单介绍一下各个项目。

- PWM 最小 ON 时间 $t_{on(min)}$

本产品的 PWM 控制设计有消隐时间，因此，为了减小电流，即使缩短 ON 时间，在该消隐时间内也肯定会保持 ON。

所谓 PWM 最小 ON 时间，是指仅在该消隐时间内，输出为 ON 的状态下实际上输出 MOSFET 保持 ON 的时间。

即，消隐时间较短的一方为“小”。

- 最小线圈电流

PWM 最小 ON 时间状态下执行 PWM 控制时的线圈电流。

即，停电等状态，如果减小线圈电流，则消隐时间较短的一方可减小电流值。

- 高速旋转时线圈电流波形失真

微步驱动时，通过输入时钟，Itrip 值变为规定的值。

Itrip 值（内部的参考电压分割比）设定为正弦波。

电机线圈电流通过 PWM 控制变成 Itrip 值，也就意味着，线圈电流被控制变成正弦波。

实际上，由于线圈的电感因素，线圈电流在收敛到目标值之前会需要一定的时间。

大致来讲，如果线圈电流变成 Itrip 值之前的收敛时间 (t_{conv}) 和输入时钟的周期 (t_{clk}) 之间的关系在所有 MODE 下都满足

$$t_{CONV} < t_{clk}$$

则线圈电流的包络会变成追随 Itrip 的形式。

其中， t_{conv} 的界限值在电流增加的方向时，由电源电压和线圈的时间常数决定，在减少方向时由电源电压和时间常数、最小 ON 时间决定。

如果提升输入时钟的频率，则 t_{clk} 会变小，因此，在 1 个时钟期间内，线圈电流可能无法完全收敛到 Itrip 值。在这样的情况下，线圈电流的包络会从正弦波上崩溃。

我公司将这种从正弦波上崩溃的状态称为“波形失真”。

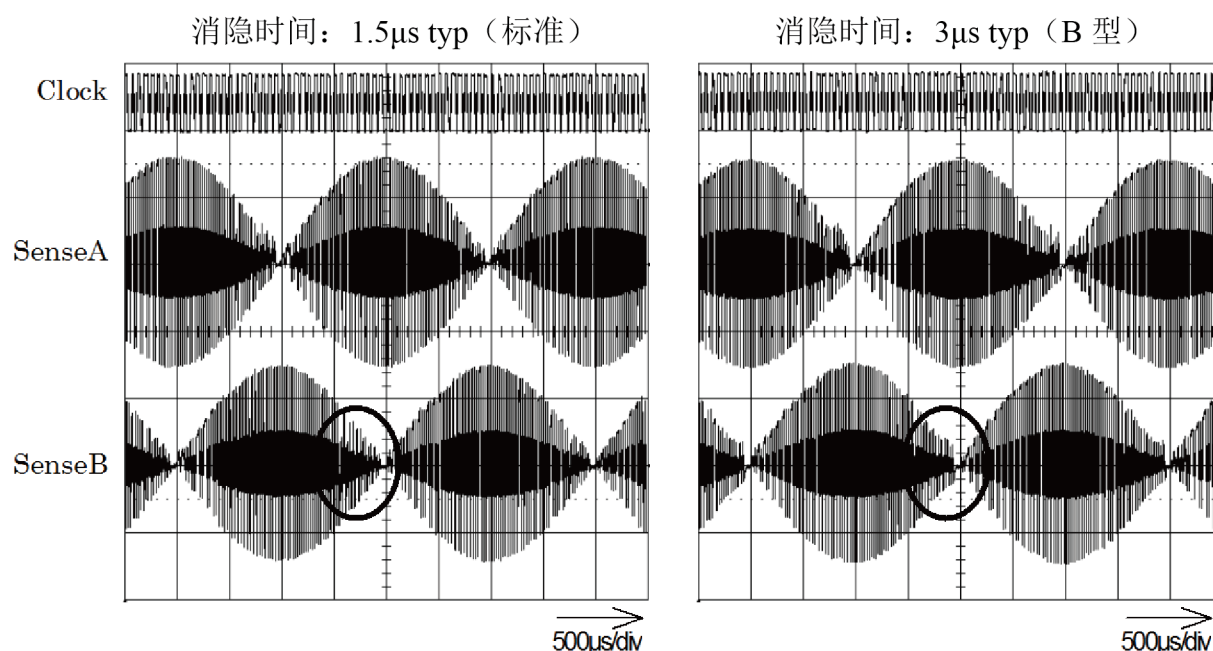
图 16-4 表示将电源电压、电流设定值、电机等的工作条件设定成相同，只改变产品来观测波形，对波形失真进行比较的情况。

如图中○围起来的部位那样，可以确认到以下情况：消隐时间为 $1.8\mu\text{s}$ 时，相对于 Sense 引脚波形（请视为与电流波形相同）的包络变成正弦波状，消隐时间为 $3.6\mu\text{s}$ 时，从正弦波上崩溃。

表 16-1 中“大”是指，在相同驱动条件下考虑时，消隐时间较长的一方会在更低的频率发生波形失真，而且，如果时钟频率相同，消隐时间较短的一方波形的失真程度会变大。

而且，即使在确认到这种波形失真时，也不能说会影响到电机特性，因此，请在充分评估的基础上做出最终判断。

图 16-4 高速旋转时 SENSE 引脚波形的比较



④ 关于 PWM 关闭期间

SI-7321M 与 SLA7070M 系列相同，都是通过内部振荡器生成的固定时间控制内部 PWM 关断时间，SI-7321M 通过电流比率在 3 种模式之间切换（详情请参考第 5 页的规格）。

另外，SI-7321M 与 SLA7070M 系列相同，具有可降低 PWM 关断时间内损耗的功能。该功能与 PWM 导通时相同，成为消除在导通 MOS FET 的状态下积蓄到电机线圈上反电动势的方式（同步整流动作）。

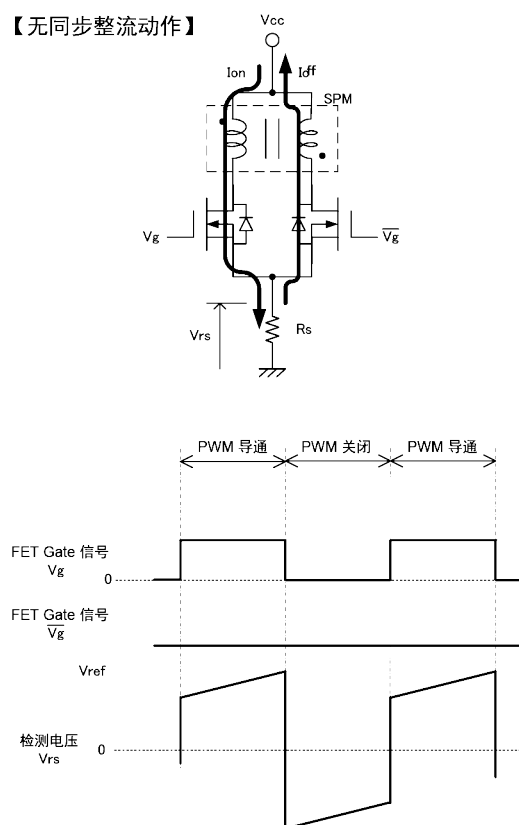
图 16-5 表示进行或不进行同步整流，反电动势再生方法的区别。

不采取同步整流，仅 PWM 导通侧的 MOS FET 从 ON \leftrightarrow OFF，而进行同步整流后，PWM 关断侧的 MOS FET 也从 OFF \leftrightarrow ON。

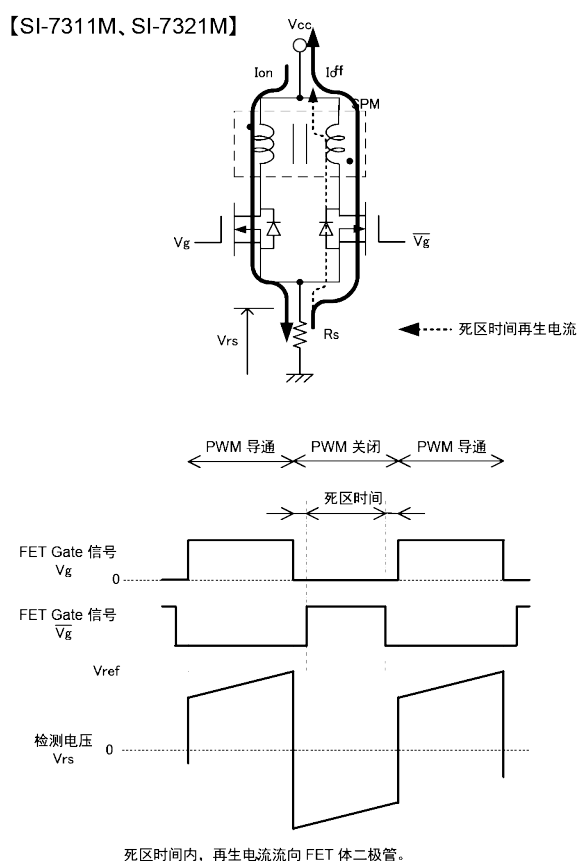
切换同步整流动作时，为避免 MOSFET 同时导通，设计有死区时间（约 0.5 μ s）。在死区时间内，再生电流会流向 FET 的体二极管。

图 16-5 同步整流动作

【无同步整流动作】



【SI-7311M、SI-7321M】



(2) 保护功能

SI-7321M 中搭载有“电机线圈短路保护电路”和“电机线圈开路保护电路”。

下面介绍各保护电路。

① 关于电机线圈短路保护（负载短路）

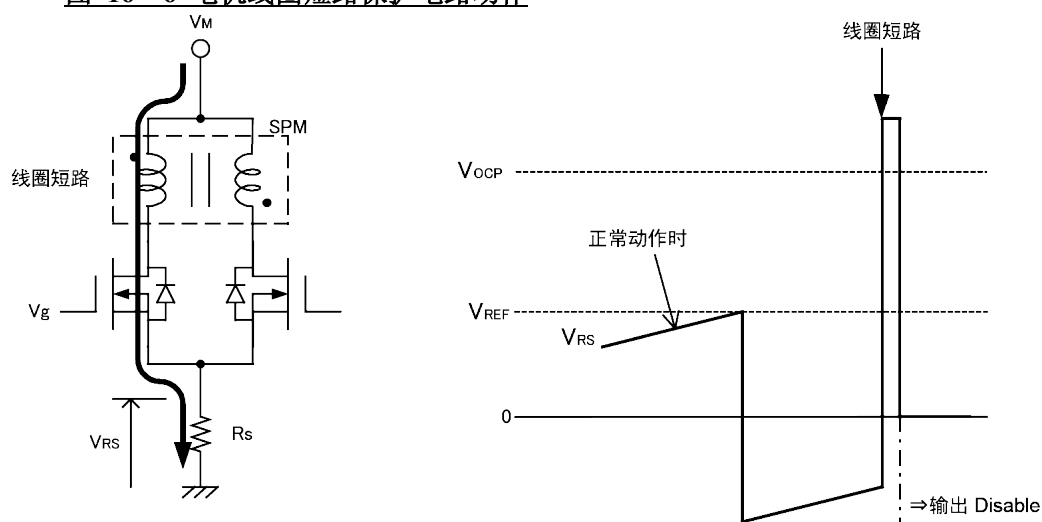
SI-7321M 内置的电机线圈保护电路同电流控制相同，通过对检测电阻产生的电压 V_{RS} 进行检测而进行动作。

电机线圈短路保护工作时的电压 V_{OCP} 设定为约 0.7V。

保护电路工作时，输出变成 Disable 的状态。

电机线圈短路保护工作条件： $V_{RS} > V_{OCP}$

图 16-6 电机线圈短路保护电路动作



※不通过检测电阻，过电流将无法检测。

※保护电路工作后，如要恢复电路，需重新启动 V_{DD} 。

②关于电机线圈开路保护(正在申请专利)

单极驱动下，工作时如果一个输出引脚（电机线圈）断线，可能导致驱动器损坏。这是因为断线后连接的 MOS FET 在 PWM 关闭时，会因反电动势的作用进入外加非常强大能量的“雪崩状态”。

所谓“雪崩状态”，是指输出达到 MOS FET 的漏极 - 源极之间的耐压状态（击穿的状态）下，消除电机线圈中积蓄的能量。

虽然 SI-7321M 使用了具有一定雪崩耐量的 MOS FET，但雪崩耐量取决于温度，随着温度升高，耐量会下降。

断线状态下，每重复一次 PWM 动作，都会施加较大的能量，因此，MOS FET 的温度会上升，当“外加能量>耐量”时，驱动器会损坏。

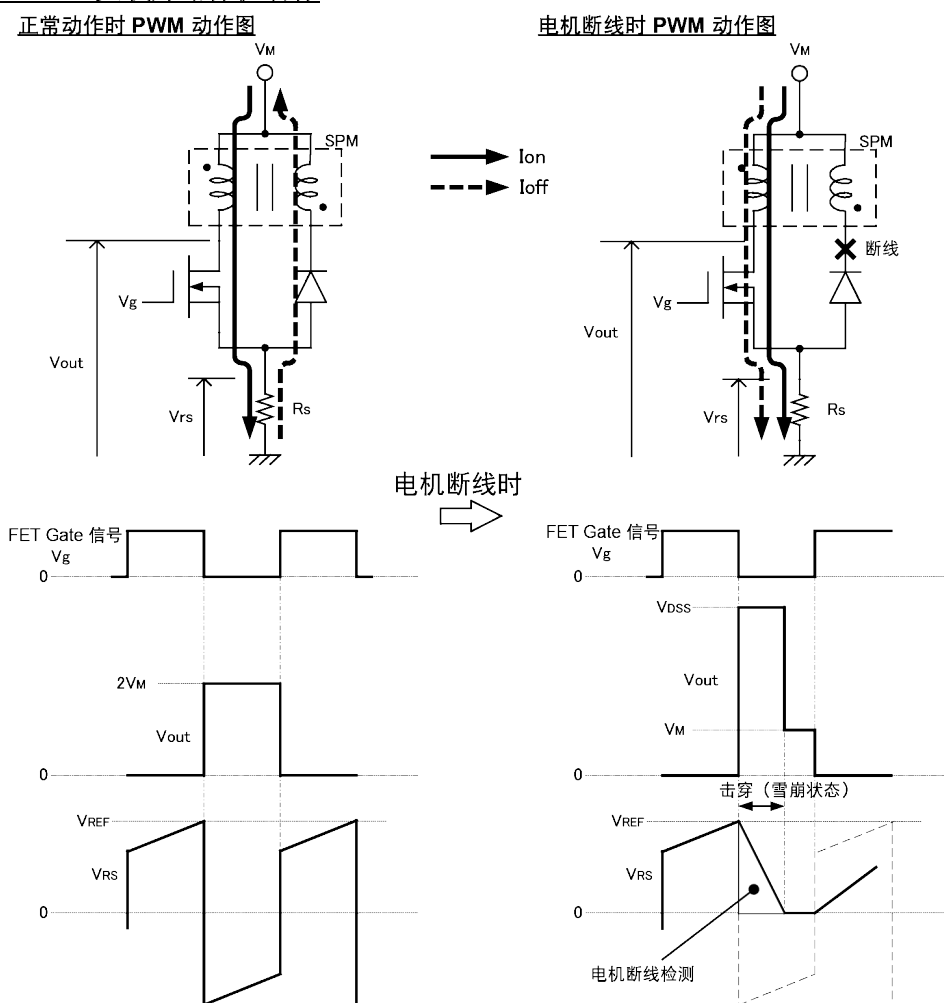
因此，在 SI-7321M 中搭载了可检测“雪崩状态”并保护驱动器的电路。以下表示其动作情况。如果电机线圈断线，如上所述，在 PWM 关断期间，当连接的 MOS FET 达到耐压的状态时，会出现再生电流。因此，通常工作时，检测电压 V_{RS} 在 PWM 关断期间会变成负电位，但在电机线圈断线的状态下，会产生正电位。

即，PWM 关断期间，通过检测 V_{RS} 为正电位，就可以检测到电机已断线。

为避免误检测，将 SI-7321M 设计为连续第三次检测到电机断开状态时进行保护。

图 16-7 表示工作图。

图 16-7 负载开路保护动作

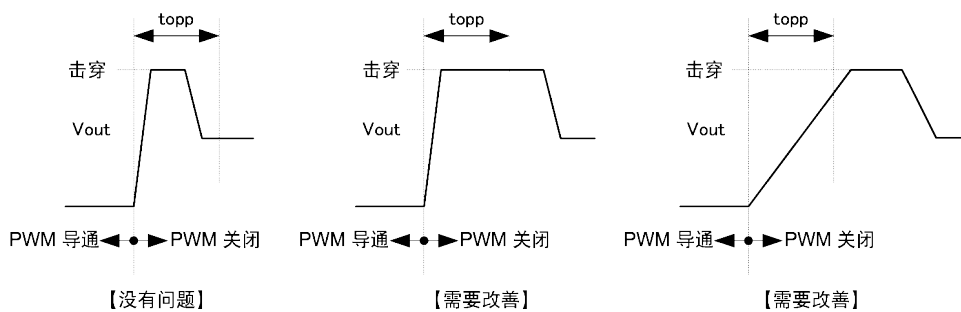


※注意

通过 PWM 关断后产生的浪涌噪声确认输出击穿时，即使击穿发生期间超过了负载断线未检测时间 (topp)，仍会继续，则实际上负载即使没有断线，保持功能有时仍会工作。请重新修改电机及配线的缠绕等，将击穿时间控制到负载断线未检测时间 (topp) 以内（还需考虑设定偏差）。

未确认到击穿时，不会影响动作。

此外，作为改进方法之一，在 Out-Gnd 之间安装吸收浪涌噪声的电容后，动作可能会变正常。



17. 使用时

(1)电机电流的常数设定 (r1, r2, Rs)

电机电流 I_o 的设定方法由外围元件 r1, r2, Rs 的常数决定。

下面是计算 I_o 的公式。

$$I_o = \frac{r2}{r1+r2} \times V_{DD} \div R_s \quad \dots \dots \text{公式 ①}$$

此外，双重下划线的项为参考电压 V_{REF} 。

将 V_{REF} 设定成 0.1V 以下，则会受到产品偏差及配线模式阻抗等的影响，电流精度下降的可能性会增加。

实际控制的电流 I_{trip} 通过 DAC 对参考电压进行分压。

$$I_{trip} = \frac{V_{REF}}{R_s} \times (\text{Mode比率}) \quad \dots \dots \text{公式 ②}$$

(2) 关于控制电流的下限值

SI-7321M 采用 OFF 时间固定的自励式 PWM 电流控制方式。

在固定的 PWM 关断时间内，如果蓄积在电机线圈中的能量消失，线圈电流会出现图 17-1 所示的断续电流。

随着 PWM 的平均电流下降，电机转矩也下降。

我公司将电流断断续续开始流向该线圈的状态视为控制电流的下限值。

控制电流的下限值会因所使用的电机等条件而异，但一般可通过下面的公式计算。

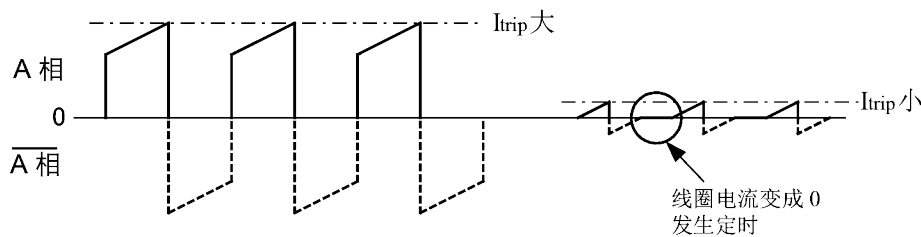
$$I_{O(\min)} = \frac{V_M}{R} \left(\frac{1}{\exp\left(-t_{OFF}/t_C\right)} - 1 \right) \quad t_C = \frac{L_m}{R} \quad \dots \dots \text{式③}$$

$$R = R_m + R_{DS(on)} + R_s$$

V_M	:	电机电源电压	R_m	:	电机线圈电阻
$R_{DS(on)}$:	MOS FET 导通电阻	L_m	:	电机线圈电感
t_{off}	:	PWM 关断时间	R_s	:	电流检测电阻

即使控制电流值设定成低于该下限值，也不会使产品损坏，但相对于设定电流，控制电流会变化。

图 17-1 控制电流下限模型波形



(3) 雪崩能量确认

SI-7321M 的单极驱动方式中有时会发生超出输出单元 MOSFET 耐压的浪涌电压（振铃噪声）输入到产品的情况。

本产品假设该浪涌电压，使用具备足够雪崩耐量的 MOS FET，因此在通常情况下即使发生了浪涌电压也能够正常使用。

但是，如果电机的线束较长或在接近额定电流及额定电压条件下使用时，有时施加到产品上的雪崩能量会大于我公司假设，因此在实际评估时，请务必确认施加到产品上的雪崩能量。

雪崩能量的确认方法总结如下。

图 17-2 表示观测点，图 17-3 表示波形图。

【计算示例】

根据图 17-3 的波形观测结果得到如下数据

$$V_{DS(AV)}=140V$$

$$I_D=1A$$

$$t=0.5\mu s$$

则雪崩能量 E_{AV} 可通过下面的公式计算。

$$\begin{aligned} E_{AV} &= V_{DS(AV)} \times 1/2 \times I_D \times t \quad \dots \dots \text{公式 ④} \\ &= 140V \times 1/2 \times 1A \times 0.5 \times 10^{-6} \\ &= 0.035[mJ] \end{aligned}$$

如示例那样，将计算得出的 E_{AV} 与下图 Fig17-1 所示的图表进行比较，确认是否在 MOS FET 的雪崩能量耐量范围内，判断其安全性。

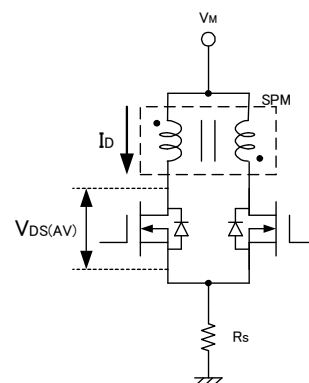


图 17-2 观测点

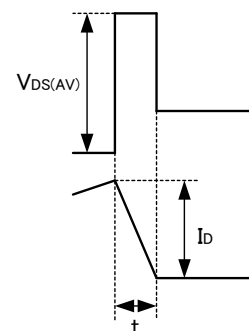
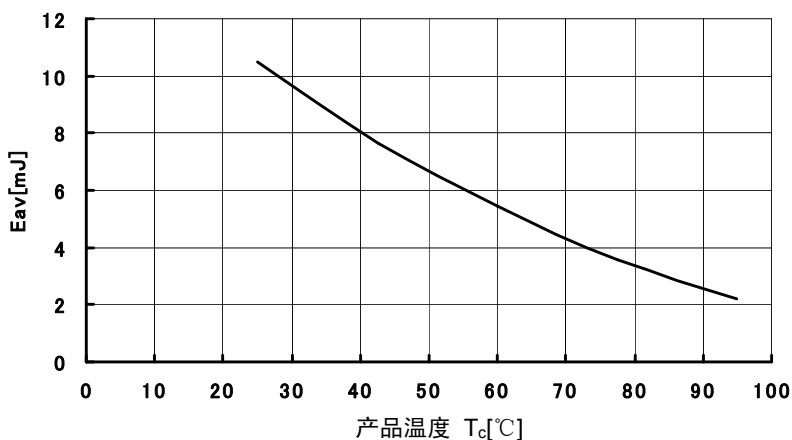


图 17-3 击穿时波形图

Fig17-1 重复雪崩耐量 E_{AV}



(4) 关于电源 (V_{BB} 、 V_{DD}) 的 ON/OFF 时序

本产品主电源 V_{BB} 和逻辑电源 V_{DD} 的 ON/OFF 顺序没有限制。

(5) 关于电机电源电压 (V_M) 和主电源电压 (V_{BB})

本产品如第 9 项的内部方框图所示, 控制集成电路 (MIC) 和输出功率 MOSFET 组合的结构, 其电极电源与主电源进行电气隔离。因此, 即使电机电源和主电源使用不同的电源 (电压), 也能够进行驱动。

但是, 两个电源的电源电压范围不同, 敬请注意。

(6) 关于内部逻辑电路

a) 关于内部时序发生器的复位

本产品的时序发生器电路在接通逻辑电源 (V_{DD}) 时, 产品内部的功率 ON 复位功能会动作, 并执行初始化。

在刚接通电源时的输出在励磁原点会变成通电状态。

电机工作后如果需要将时序发生器进行复位, 请向 Reset 引脚输入复位信号。

不需要从外部执行复位时, 不会使用 Reset 引脚, 因此请在电路中将 Reset 引脚固定成低电平。

b) 关于时钟输入

停止时钟输入信号后, 励磁会变为电机 Hold 状态。

此时无论时钟输入信号是低电平还是高电平, 都没有问题。

SI-7321M 的动作设计为, 以时钟边沿驱动 1Step 动作。

边沿动作, 可以选择正边沿动作或者正/负边沿动作 (W 边沿)。

c) 关于斩波同步电路

本产品搭载有可在电机保持时避免发生电机噪音的斩波同步功能。

本功能将在 Sync 引脚设定为高电平时工作。

但是, 如果在电机旋转时使用本功能, 则控制电流会不稳定, 可能出现电机转矩下降及振动增加, 因此, 不建议在旋转时使用。

此外, 该同步电路在 2 相励磁状态 (Mode8&F) 或 1 相励磁状态的 Hold 以外条件下使用时, 将无法控制电机电流, 敬请注意。

通常情况下, 使用本功能时, 通过微电脑等输入信号, 再进行切换, 但受端口限制等因素, 无法输入信号时, 可通过以下方法来使用本功能。

图 17 - 4 所示的电路介绍是利用时钟信号的 Sync 信号发生电路。

输入高电平的时钟信号后, 电路中的电容会充电, Sync 信号变成低电平。

在低电平下停止时钟信号后, 电容器会通过电阻放电, Sync 信号变成高电平, 进入同步模式。

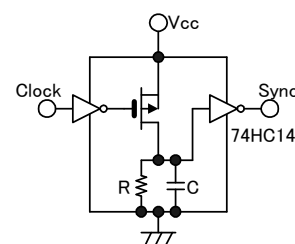


图 17 - 4 时钟停止检测电路

请根据使用的最低时钟频率来决定电路中的 RC 时间常数。

在检讨通过高电平来停止时钟输入信号的时序时，需要追加 1 个转换器电路。

停止时的时钟信号不清楚时，或者选择了 W 边沿时，可在图 17-4 的电路前添加如图 17-5 所示的边沿检测电路进行处理。

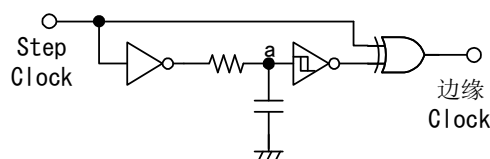


图 17-5 边沿检测电路

d) 关于输出 Disable (Sleep1,2) 电路

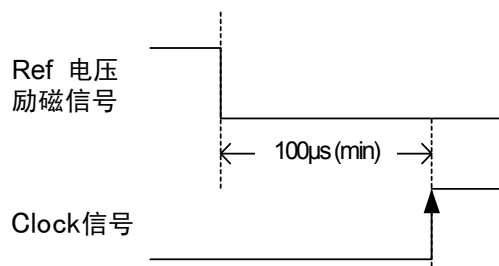
用本产品设定成电机自由状态（输出 Disable）的方法有 2 种，将 REF 引脚设定成 2V 以上的方法和使用励磁信号 (M1, M2, M3) 的方法。

以上方法都会使主电源系统电路停止工作，并降低电路电流的 Sleep 模式。不同之处在于，在使用 REF 引脚的方法时，内部时序发生器处于 Enable 状态，但在使用励磁型号的方法时，内部时序会变成 HOLD 状态。即，使用励磁信号的方法中，即使在 Sleep 中输入了 Clock 信号，仍会保持励磁定时的状态。

而且从输出 Disable (Sleep1,2) 状态进入旋转电机的模式时，请考虑产品的上升沿和电机励磁电流的上升时间再设定 Disable 解除到时钟沿输入的时间。

（以下请参考图 17-6。）

图 17-6 Disable 解除和 Clock 输入的定时



※使用 W 边沿类型时，Disable 解除后 Clock 可能从 NEG 沿开始。

e) 关于 REF 引脚

本产品的 REF 引脚，如真值表及上述 d 项所介绍的那样，是兼具 2 种功能的引脚。

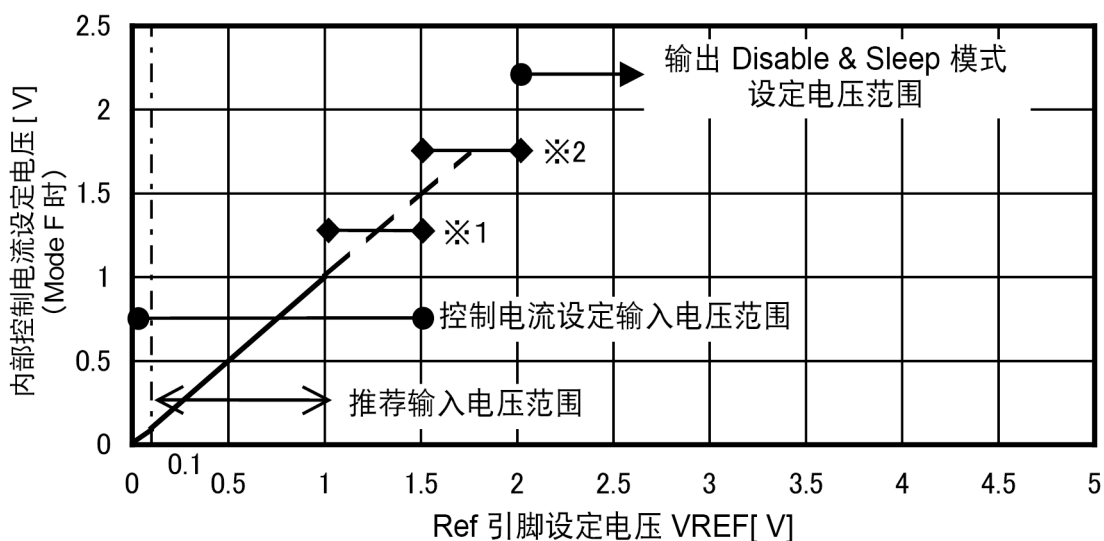
- ① 输出电流设定的参考电压设定
- ② 输出 Enable / Disable 控制输入

REF 设定电压和动作的关系如图 17-7 所示，但有个别区域需要注意。

控制 REF 电压时，请注意以下事项。

- ※1: 该区域的控制电流值还会随着 REF 电压发生变化。因此，要特别注意产品和检测电阻等损耗。
- ※2: 该区域存在输出 Enable 和 Disable 相互切换的电压。Enable 时，注意事项与上述※1 相同。此外，有些情况下，输出会在 Enable 和 Disable 之间反复，出现输出状态不固定等情况。

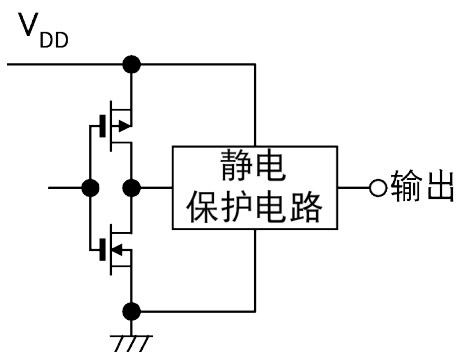
图 17 - 7 外部—内部 REF 电压和动作的关系



f) 关于逻辑系统引脚

- 输入引脚 (Clock, Reset, CW/CCW, M1, M2, M3, Sync 引脚)
存在不使用的引脚 (逻辑电平固定) 时, 请不要保持开路, 应连接到 V_{DD} 或 GND。
在开路状态下使用时, 产品可能出现意外动作。
- 输出引脚 (Mo&Flag 引脚)
Mo 引脚及 Flag 引脚变成监视输出。
另外, 产品内部如图 17 - 8 等效电路所示, 为逆变器输出。
因此, 不使用 Mo 引脚及 Flag 引脚时, 请务必保持开路。

图 17 - 8 Mo 引脚及 Flag 引脚内部等效电路



18. 热设计资料

如要准确地计算 SI-7321M 的损失，则需要电机实际工作时的时间常数、励磁模式、输入频率及其时序等变化的参数，不具有现实性。

因此，首先按最差条件、近似计算进行计算。

只提取最少参数的损耗计算公式如下所示。

$$P = I^2 \times R_{DS(on)} \times 2$$

P : 产品损耗

I : 工作电流 $\approx I_o$

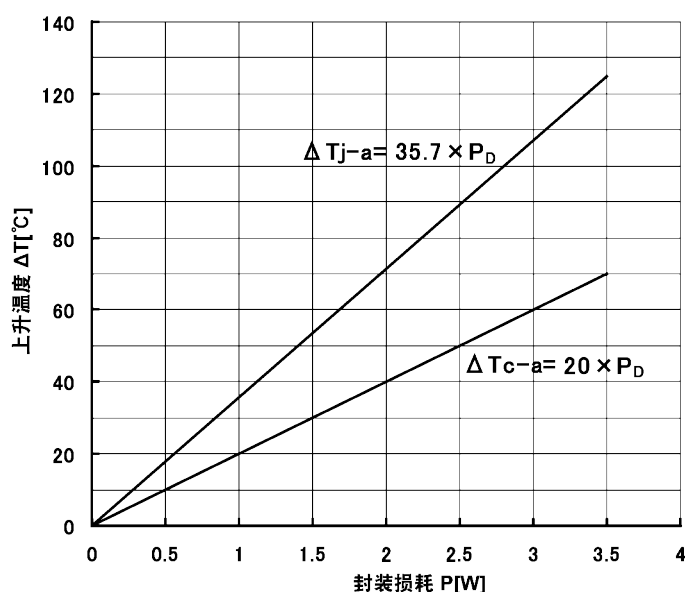
$R_{DS(on)}$: 搭载的 MOSFET 的导通阻抗

根据前面计算得出的产品损耗，使用以下 Fig18 - 1 的温度上升曲线，推定产品的结温。

此时，在最差条件（工作环境温度的最大值）下，如果结温没有超过 150℃，则没有问题，但最终判断会测定实际工作中的产品发热情况，根据 Fig18 - 1，确认损耗及结温。

Fig18-1 产品温度上升特性

参考：使用三垦评估基板



测量处：标记面中央（不接触温度计）

通过实际动作来测量产品温度，推定结温时，思路如下。

测量产品封装中央上升的温度(ΔTc-a)。

根据该温度上升，查看上一页的温度上升曲线图，推定损耗 P 和结温 Tj。

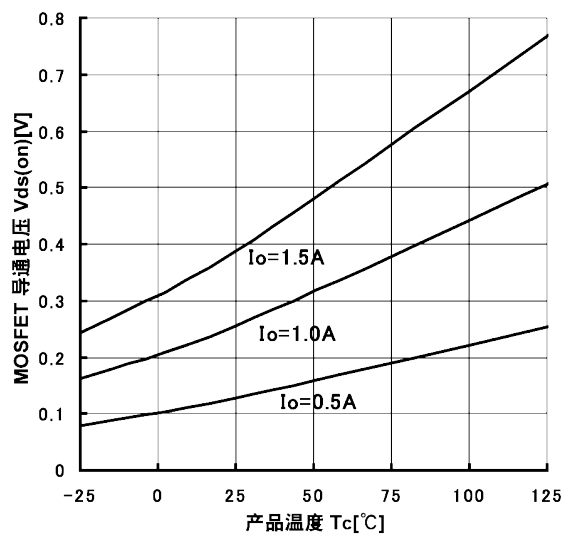
此时，产品的温度上升 ΔTc-a 和结合点上升温度 ΔTj 的关系可通过下面的公式进行近似计算。

$$\Delta T_j \approx \Delta T_{j-c} + P \times \theta_{j-c}$$

☆注意事项

- 本产品为功率元件（MOSFET）和控制集成电路（MIC）分离的多芯片结构。因无法通过控制集成电路准确检测热源——功率器件的温度，所以不搭载过热保护功能。因此，希望进行充分的热评估，防止结温超过保证值（150℃）。
- 本热设计资料仅供参考，可在实际使产品工作前研究可多大程度地使用。最终请通过实际机器来确认产品发热（封装中央）情况，然后做出判断。

19. 典型特性示例

(1) 输出 MOS FET 导通电压 $V_{DS(on)}$ 特性(2) 输出 MOS FET 体二极管正向电压 V_F 特性