

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

### 特点

- 38V 1.2A 额定输出能力
- 可驱动 2 个步进电机
- 兼容 3.3V 和 5V 逻辑电平
- 欠压锁定(UVLO)保护电路
- 过流保护电路
- 4 路全桥
- 大电流输出
- 同步整流
- 过热关断保护电路
- 采用散热良好的 QFN36-6×6 与 TQFP48-7×7 封装

### 应用

- 监控摄像机
- 电动玩具
- 机器仿生应用
- 其他电动机械应用

### 描述

RY3988是一款四路DMOS全桥驱动芯片，能够驱动多达2个步进电机或4个直流电机。每个全桥输出额定值高达38V, 1.2 A。其内部集成了固定关闭时间的PWM电流调节器和2位非线性数模转换器，支持步进电机的全步、半步、1/4步控制，或直流电机的正向、反向、滑行模式控制。其PWM电流调节器采用的混合衰减模式可有效降低电机的可闻噪声，增加步进精度，并减小功耗。在PWM工作模式下，内置的同步整流控制电路能够有效减小电路功耗。该芯片还具有过热关断、欠压锁定以及过流保护等保护功能，且无需特定的上电时序。

RY3988提供两种贴片封装，并都带有裸露散热焊盘，能有效改善散热性能。一种是QFN36（6mm×6mm），另一种是TQFP48（7 mm × 7 mm）。两种封装为无铅封装，引框采用100%无锡电镀。

### 典型应用电路

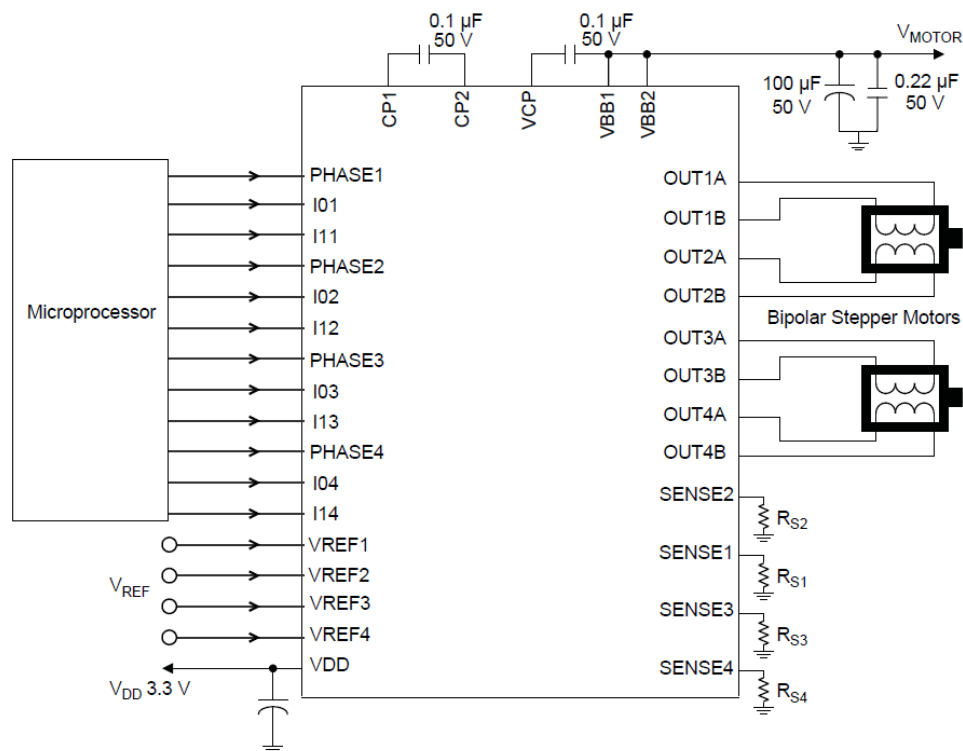
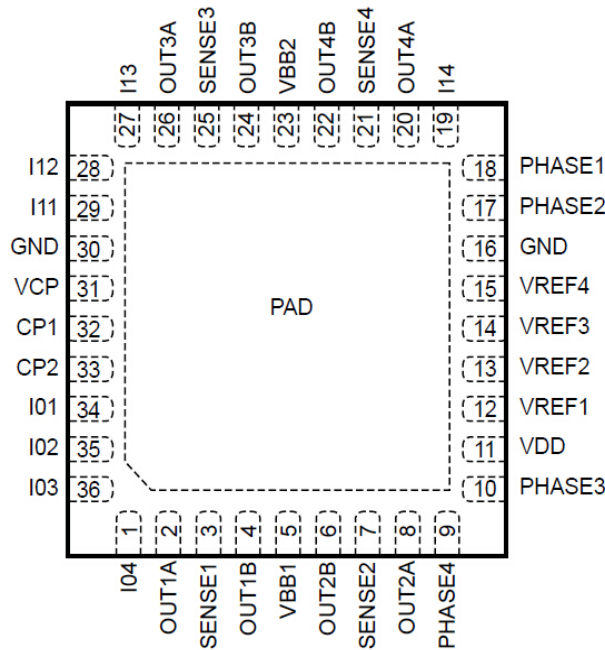


图 1. 典型应用电路图

# 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

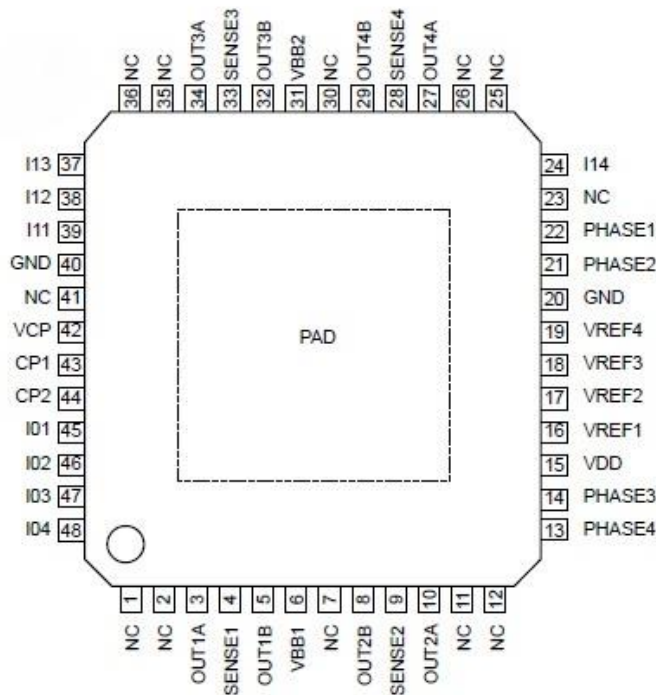
## 封装及引脚描述

### 引脚排列图



顶部丝印: RY3988Q YYLL (产品型号: RY3988Q, YY=year code, LL= lot number code)

图 2. QFN36-6x6 引脚定义图



顶部丝印: RY3988T YYLL (产品型号: RY3988T, YY=year code, LL= lot number code)

图 3. TQFP48-7x7 引脚定义图

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

### 引脚定义

QFN36	TQFP48	Pin Name	Pin Description
2	3	OUT1A	DMOS Full-Bridge 1 Output A
3	4	SENSE1	Sense Resistor Terminal for Bridge 1
4	5	OUT1B	DMOS Full-Bridge 1 Output B
5	6	VBB1	Load Supply Voltage
6	8	OUT2B	DMOS Full-Bridge 2 Output B
7	9	SENSE2	Sense Resistor Terminal for Bridge 2
8	10	OUT2A	DMOS Full-Bridge 2 Output A
9	13	PHASE4	Control Input
10	14	PHASE3	Control Input
11	15	VDD	Logic Supply Voltage
12	16	VREF1	Analog Input
13	17	VREF2	Analog Input
14	18	VREF3	Analog Input
15	19	VREF4	Analog Input
16	20	GND	Ground
17	21	PHASE2	Control Input
18	22	PHASE1	Control Input
19	24	I14	Control Input
20	27	OUT4A	DMOS Full-Bridge 4 Output A
21	28	SENSE4	Sense Resistor Terminal for Bridge 4
22	29	OUT4B	DMOS Full-Bridge 4 Output B
23	31	VBB2	Load Supply Voltage
24	32	OUT3B	DMOS Full-Bridge 3 Output B
25	33	SENSE3	Sense Resistor Terminal for Bridge 3
26	34	OUT3A	DMOS Full-Bridge 3 Output A
27	37	I13	Control Input
28	38	I12	Control Input
29	39	I11	Control Input
30	40	GND	Ground
31	42	VCP	Reservoir Capacitor Terminal
32	43	CP1	Charge Pump Capacitor Terminal
33	44	CP2	Charge Pump Capacitor Terminal
34	45	I01	Control Input
35	46	I02	Control Input
36	47	I03	Control Input
1	48	I04	Control Input
	1, 2, 7, 11, 12, 23, 25, 26, 30, 35, 36, 41	NC	No Connect
		PAD	Exposed pad for enhanced thermal performance. Should be soldered to the PCB.

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

### 订购信息

丝印	物料编号	型号	产品描述	封装	包装
RY3988Q YYLL	71004001	RY3988Q	RY3988Q Quad DMOS Full Bridge PWM Motor Driver, QFN36-6×6	QFN36-6×6	2500PCS Per Tray
RY3988T YYLL	71004002	RY3988T	RY3988T Quad DMOS Full Bridge PWM Motor Driver, TQFP48-7×7	TQFP48-7×7	2500PCS Per Tray

### 工作极限 (备注1) (备注2)

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	$V_{BB}$		-0.5 to 38	V
		Pulsed $t_w < 1 \mu s$	40	V
Logic Supply Voltage	$V_{DD}$		-0.4 to 7	V
Output Current	$I_{OUT}$	May be limited by duty cycle, ambient temperature, and heat sinking. Under any set of conditions, do not exceed the specified current rating or a Junction Temperature of 150°C.	1.2	A
		Pulsed $t_w < 1 \mu s$	2.8	A
Logic Input Voltage Range	$V_{IN}$		-0.3 to 7	V
SENSE <sub>x</sub> Pin Voltage	$V_{SENSEx}$		0.5	V
		Pulsed $t_w < 1 \mu s$	2.5	V
VREF <sub>x</sub> Pin Voltage	$V_{REFx}$		3	V
Operating Temperature Range	$T_A$	Range S	-20 to 85	°C
Junction Temperature	$T_J(max)$		150	°C
Storage Temperature Range	$T_{stg}$		-40 to 125	°C

备注1: 超过工作极限状态可能会损坏本产品;

备注2: 本产品不保证在极限工作状态外正常工作。

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

### 电气特性 (备注 3) (备注 4) (备注 5) (备注 6)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Load Supply Voltage Range	$V_{BB}$	Operating	8.0	–	38	V
Logic Supply Voltage Range	$V_{DD}$	Operating	3.0	–	5.5	V
VDD Supply Current	$I_{DD}$		–	5	10	mA
Output On Resistance	$R_{DS(on)}$	Source driver, $I_{OUT} = -1.2\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	–	700	800	$\text{m}\Omega$
		Sink driver, $I_{OUT} = 1.2\text{ A}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	–	700	800	$\text{m}\Omega$
$V_f$ , Outputs		$I_{OUT} = 1.2\text{ A}$	–	–	1.3	V
Output Leakage	$I_{DSS}$	Outputs, $V_{OUT} = 0$ to $V_{BB}$	–20	–	20	$\mu\text{A}$
$V_{BB}$ Supply Current	$I_{BB}$	$I_{OUT} = 0\text{ mA}$ , outputs on, PWM = 50 kHz, DC = 50%	–	–	8	mA
<b>控制逻辑</b>						
Logic Input Voltage	$V_{IN(1)}$		$0.7 \times V_{DD}$	–	–	V
	$V_{IN(0)}$		–	–	$0.3 \times V_{DD}$	V
Logic Input Current	$I_{IN}$	$V_{IN} = 0$ to $5\text{ V}$	–20	<1.0	20	$\mu\text{A}$
Input Hysteresis	$V_{hys}$		150	300	500	mV
Propagation Delay Times	$t_{pd}$	PWM change to source on	350	550	1000	ns
		PWM change to source off	35	–	300	ns
		PWM change to sink on	350	550	1000	ns
		PWM change to sink off	35	–	250	ns
Crossover Delay	$t_{COD}$		300	425	1000	ns
Blank Time	$t_{BLANK}$		0.7	1	1.3	$\mu\text{s}$
VREFx Pin Input Voltage Range	$V_{REFx}$	Operating	0.0	–	3	V
VREFx Pin Reference Input Current	$I_{REF}$	$V_{REF} = 1.5$	–	–	$\pm 1$	$\mu\text{A}$
Current Trip-Level Error	$V_{ERR}$	$V_{REF} = 1.5$ , phase current = 100%	–5	–	5	%
		$V_{REF} = 1.5$ , phase current = 67%	–5	–	5	%
		$V_{REF} = 1.5$ , phase current = 33%	–15	–	15	%
<b>保护电路</b>						
$V_{BB}$ UVLO Threshold	$V_{UV(V_{BB})}$	$V_{BB}$ rising	7.3	7.6	7.9	V
$V_{BB}$ Hysteresis	$V_{UV(V_{BB})hs}$		100	500	600	mV
VDD UVLO Threshold	$V_{UV(V_{DD})}$	$V_{DD}$ rising	2.65	2.8	2.95	V
VDD Hysteresis	$V_{UV(V_{DD})hy}$		75	105	125	mV
Thermal Shutdown Temperature	$T_{JTSD}$		155	165	175	$^\circ\text{C}$
Thermal Shutdown Hysteresis	$T_{JTSDhys}$		–	15	–	$^\circ\text{C}$

# 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

备注3: 以上电气参数均在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{BB} = 24\text{V}$ 时测定, 除非特殊说明。

备注4: 对于输入/输出电流, 我们将从指定器件引脚流出的电流定义为负电流。

备注5: 典型数据仅是在最佳制造和应用的假设条件下的数值, 仅供初步设计概算使用。对于个体芯片, 性能可能有所不同, 均在最大值和最小值间。

备注6:  $V_{ERR} = [(V_{REF}/3) - V_{SENSE}] / (V_{REF}/3)$ 。

## 电路结构框图

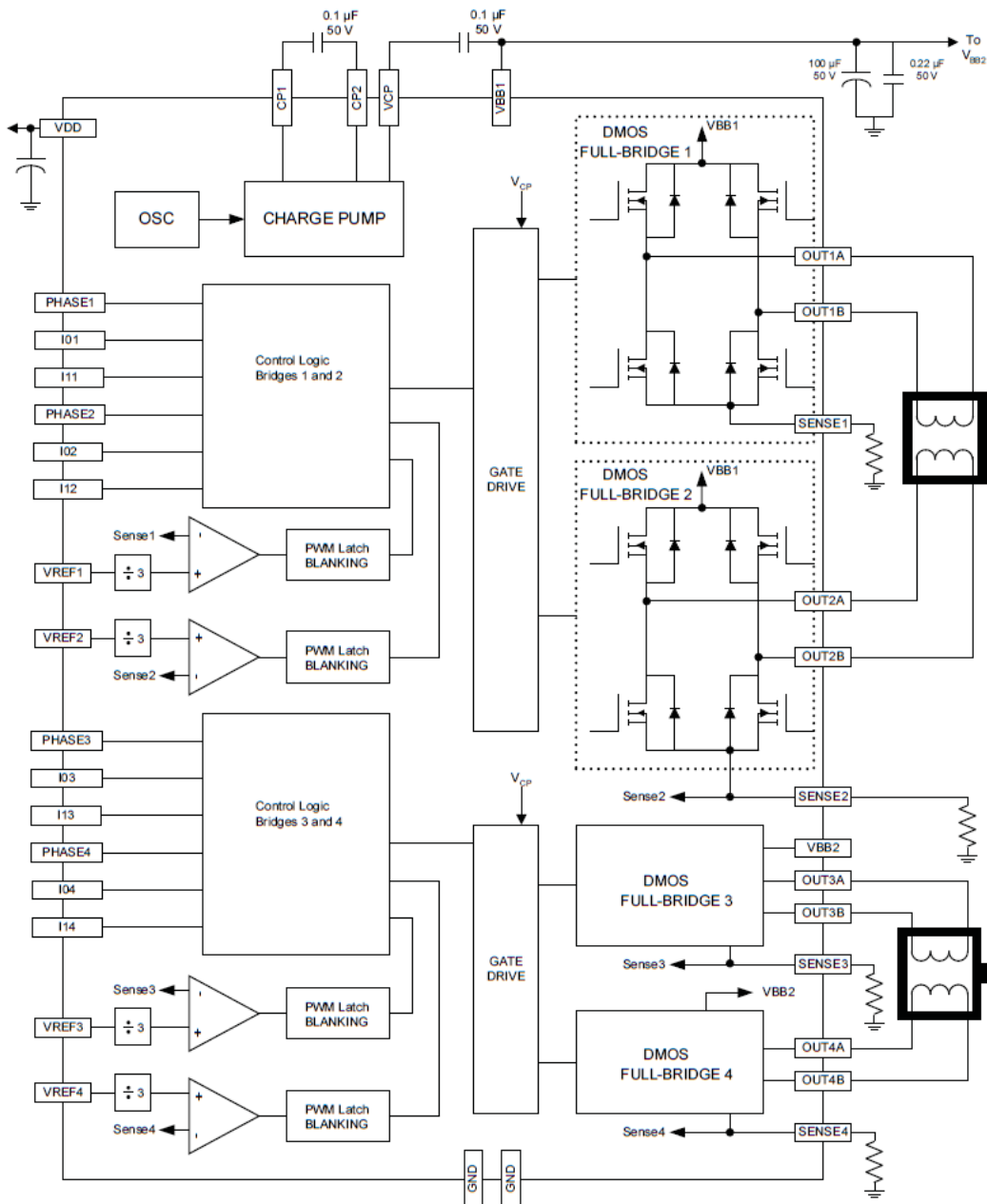


图 4. 电路结构框图

# 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

## 功能描述

### 器件工作

RY3988能同时驱动2个步进电机、4个直流电机，或1个步进电机、2个直流电机。其中流过每个半桥的电流都由一个有固定关闭时间的PWM电流调节器控制，以限制其负载电流在一个设定值。在每一个步进，流过电机的电流由外部的电流采样电阻RS和外部参考电压VREF决定。

当逻辑输入脚（PHASEx, IOx, I1x）需要上拉至VDD时，可串联一个大电阻，这样当出现一个过大的电压时，可以限制逻辑输入电流。

### 内部 PWM 电流控制 (备注 7)

每一个H桥都由一个有固定关闭时间的PWM电流调节器控制，以限制其负载电流在一个期望值（ITRIP）。初始时，对角线上的一对DMOS（一对上下桥臂）处于输出状态，电流流经电机绕组和SENSE脚所接的电流取样电阻RSx。当取样电阻上的压降等于VREFx上的电压时，电流取样比较器将PWM锁存器锁定，从而关断源驱动器（上桥臂）。

其中，最大限流IMAX是由取样电阻RS和电流取样比较器的输入电平VREF控制的：

$$I_{TRIPmax} = V_{REF} / (3 * R_S)$$

每步的实际电流为最大电流的百分比，近似为：

$$I_{TRIP} = (\% I_{TRIPmax} / 100) I_{TRIPmax}$$

其中%ITRIPmax可在步序表中查看。

备注7：SENSE脚上的最大电压不能超过±0.5V。

### 固定关闭时间

内部PWM电流调节器采用单触发电路来控制驱动器保持关闭的时间。内部设定固定关闭时间为30μs。

### 消隐(Blanking)

当内部电流控制电路切换输出时，该功能屏蔽电流检测比较器此时的输出，可防止由于钳位二极管反向恢复电流，以及负载电容的开关瞬态电流引起的错误的过流检测。消隐时间，tBLANK(us)，近似为1us。

### 控制逻辑

通过工业标准接口I1, IO, PHASE与外部通信，实现对RY3988的全步、1/2步、1/4步控制。每一对桥有一个独立的VREF输入，因此可通过动态改变VREFx引脚电压来实现具有更高分辨率的步进模式。

### 电荷泵（CP1 和 CP2）

电荷泵用来生成一个高于VBB的电压，去驱动输出高端DMOS的栅极。一个0.1uF的陶瓷电容接在CP1、CP2之间，实现电荷泵的目的。一个0.1uF陶瓷电容接在VCP、VBB之间，用来存储电荷，去驱动高端DMOS器件。

### SHUTDOWN 关断

当电路发生诸如过温保护或者发生VCP的欠压闭锁等异常时，SHUTDOWN功能开启，输出被关闭，直到电路脱离SHUTDOWN条件。在上电瞬间，欠压闭锁电路关闭了输出驱动。

### 同步整流

如前所述，当PWM-OFF被内部固定关闭循环触发时，负载电流需要续流。在电流衰减期间，同步整流将开启适

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

当的MOSEFT，利用低的导通电阻（ $R_{DS(on)}$ ）来短路体二极管，这样有效降低功耗。为防止负载反向电流，当检测到零电流时，同步整流将关闭。

### 混合衰减模式

参见图5，当电流达到设定值 $I_{trip}$ ，RY3988进入快衰模式，快衰减时间 $t_{FD}$ 占固定关闭时间 $t_{OFF}$ 的30.1%。随后转为慢衰减模式直至固定关闭时间 $t_{OFF}$ 结束。从快衰向慢衰转换时，驱动被关闭约600ns（死区时间），以防止H桥电源和地的直通，在此期间内，同步整流被关闭，器件只工作在快衰或慢衰模式。

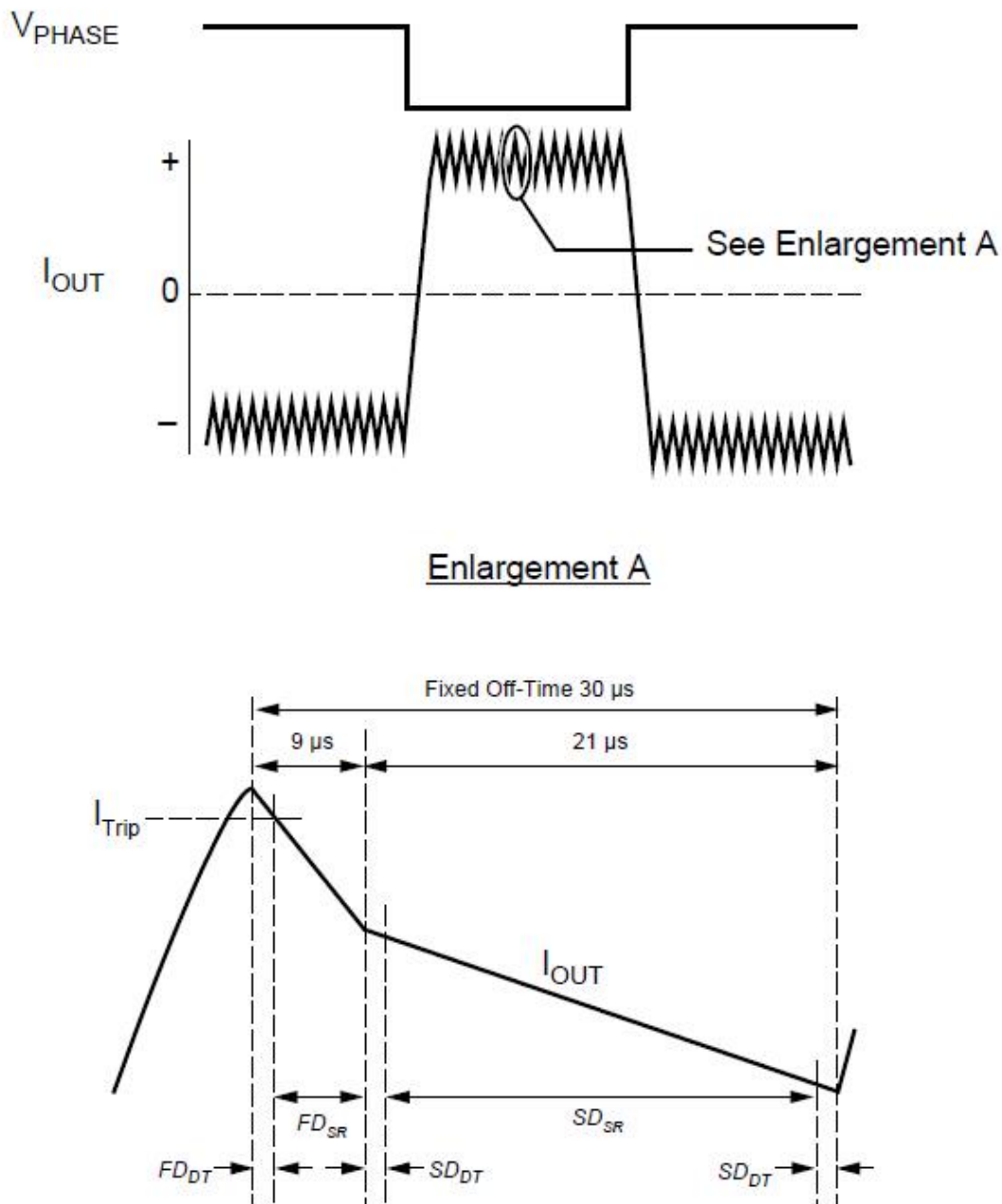


图 5. 混合衰减模式工作



# 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

## 步序图

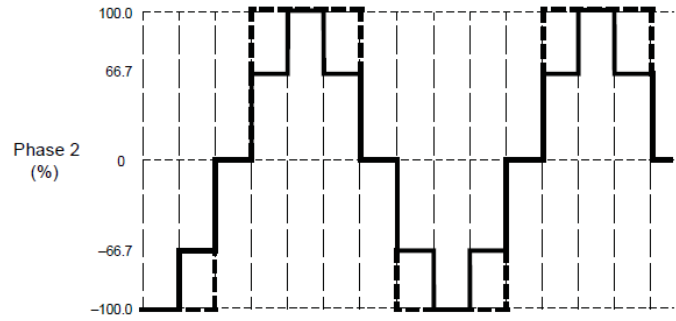
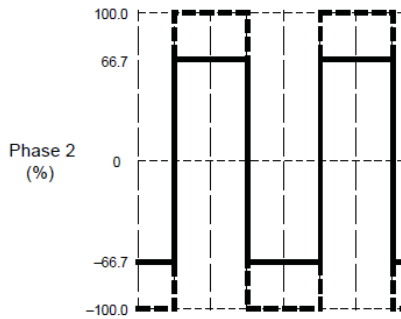
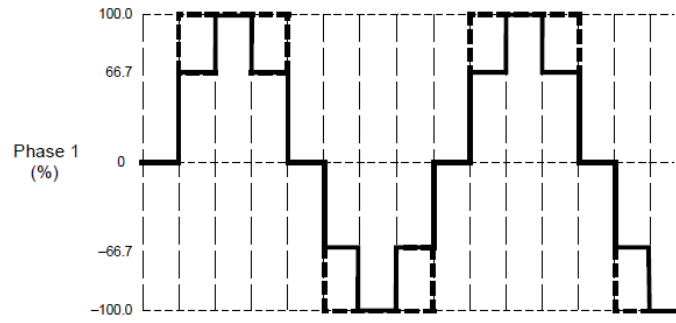
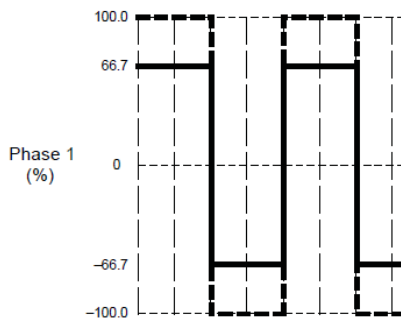


图 6. 全步进模式的步序

图 7. 1/2 步进模式的步序

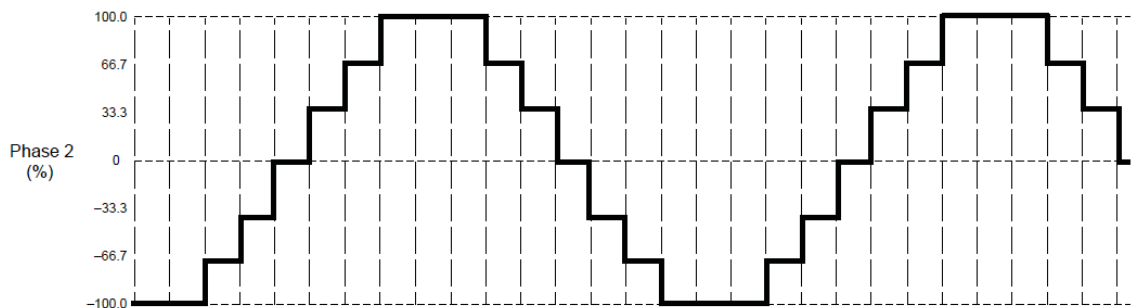
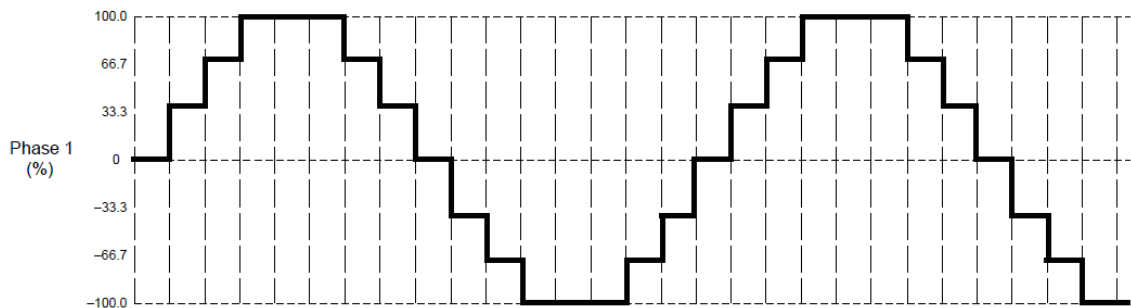


图8. 1/4步进模式的步序

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

**步序表** (备注 8) (备注 9)

Full	1/2	1/4	Phase 1 (%I <sub>TripMax</sub> )	I01	I11	PHASE1	Phase 2 (%I <sub>TripMax</sub> )	I02	I12	PHASE2
	1	1	0	H	H	X	100	L	L	1
		2	33	L	H	1	100	L	L	1
1	2	3	66	H	L	1	66	H	L	1
		4	100	L	L	1	33	L	H	1
	3	5	100	L	L	1	0	H	H	X
		6	100	L	L	1	33	L	H	0
2	4	7	66	H	L	1	66	H	L	0
		8	33	L	H	1	100	L	L	0
	5	9	0	H	H	X	100	L	L	0
		10	33	L	H	0	100	L	L	0
3	6	11	66	H	L	0	66	H	L	0
		12	100	L	L	0	33	L	H	0
	7	13	100	L	L	0	0	H	H	X
		14	100	L	L	0	33	L	H	1
4	8	15	66	H	L	0	66	H	L	1
		16	33	L	H	0	100	L	L	1

备注 8: 步进列表以 1、2 组输出为例。

备注 9: X 代表电平任意。

### 直流电机控制

RY3988 的每个 H 桥 (共有 4 个) 拥有一个独立的 PWM 电流调节器, 能驱动 4 个直流电机 (最大电流至 1.2A)。当驱动直流电机时, 可将 I0x 和 I1x 短接在一起, 这样创造了相当于使能的功能, VREFx 用来定义该路 H 桥的最大电流, 此时可将一个 PWM 波运用于该使能脚或者在相应的 PHASEx 脚。可实现电机的正、反向、滑行控制。

### PCB 布局

PCB 板应铺设尽可能大的地平面。为了获得最佳的电气特性和热参数性能, RY3988 封装上的外露散热片需直接焊接到 PCB 的外露铜上, 并在 PCB 适当位置增加散热过孔, 以此增加散热性能。

### 接地

在靠近芯片的位置使用一个低阻抗的星形接地点, 可有效减小地噪声, 该芯片封装底部的散热片可作为该星形接地点。低阻抗的地回路可有效减小地噪声, 确保电源电压稳定。在应用电路的 PCB 布局中, RY3988 下面的外露铜直接焊接在芯片底部的散热片, 其中的散热过孔也作为电气过孔, 以与 PCB 地层相连, 这两块地平面即为星形接地点。

电源端两个电容应并联, 并尽量靠近芯片引脚, 其中陶瓷电容负载滤除高频噪声, 应更靠近芯片。

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

### SENSE 设置 (备注 10)

电流取样电阻  $RS_x$  将流过较大电流，且其电压被用做电流取样比较器的采样值，需要非常精确，其需要以非常低的阻抗连接到地，否则，该阻抗上的电压将直接影响电流取样比较器的精确度。上图，其使用了很端、粗、低阻抗的引线将  $SENSE_x$  引脚与星形接地点连接。如果可能，该线路上不应有其他元器件。

备注 10: 在选择  $RS_x$  阻值是，应确保  $SENSE_x$  引脚上的电压不超过  $\pm 500$  mV。

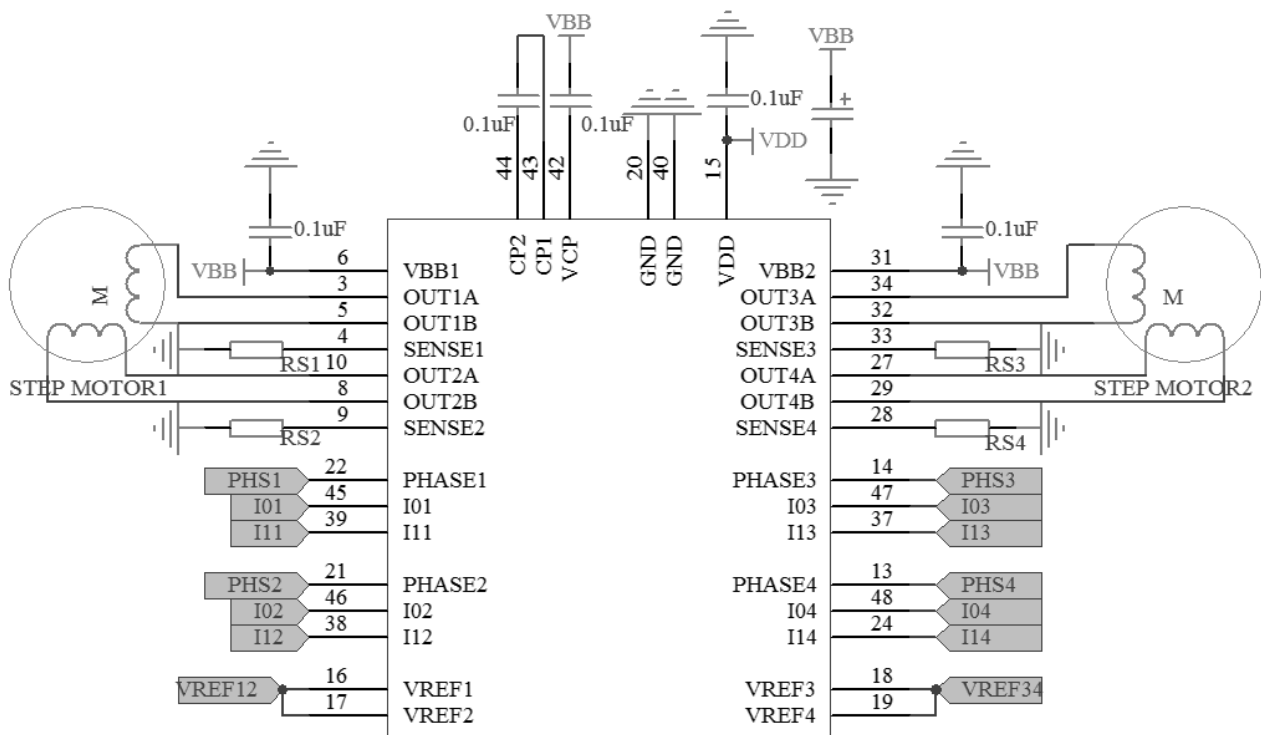


图 9. 双路步进电机普通运用参考电路

最多实现 4 细分，时序参考上表。

$$I = VREF / 3 * RS$$

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

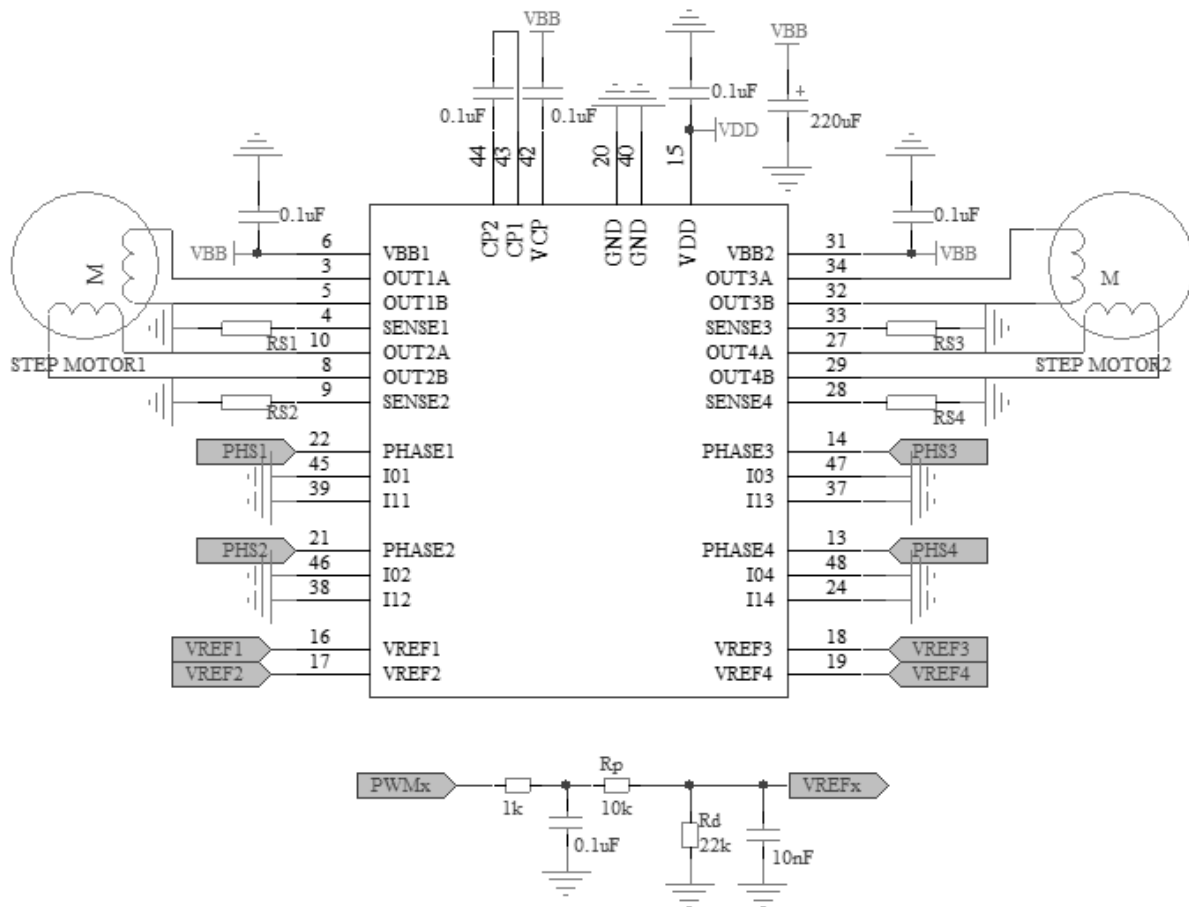


图 10. 双路步进电机高细分运用方案参考电路图

$$I = VREFMAX / 3 * RS$$

当 MCU 存在 4 路 DAC 输出，可直接用此 DAC 来产生变化的参考电压。

当 MCU 没有足够的 DAC 输出，此时可采用上图中的 RC 阻容网络，采用 PWM 来产生变化的参考电压。

下面以 8 细分为例，给出参考时序，若需要更多细分，只需在某一 PHASEx 相位内，实现更多的 DAC 电压台阶即可。

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

1/8	I phase1 %	VREF1 %	PHASE1	I phase2 %	VREF2 %	PHASE2
1	100	100	1	0	0	x
2	98.08	98.08	1	19.51	19.51	1
3	92.39	92.39	1	38.27	38.27	1
4	83.15	83.15	1	55.56	55.56	1
5	70.71	70.71	1	70.71	70.71	1
6	55.56	55.56	1	83.15	83.15	1
7	38.27	38.27	1	92.39	92.39	1
8	19.51	19.51	1	98.08	98.08	1
9	0	0	X	100	100	1
10	-19.51	19.51	0	98.08	98.08	1
11	-38.27	38.27	0	92.39	92.39	1
12	-55.56	55.56	0	83.15	83.15	1
13	-70.71	70.71	0	70.71	70.71	1
14	-83.15	83.15	0	55.56	55.56	1
15	-92.39	92.39	0	38.27	38.27	1
16	-98.08	98.08	0	19.51	19.51	1
17	-100	100	0	0	0	x
18	-98.08	98.08	0	-19.51	19.51	0
19	-92.39	92.39	0	-38.27	38.27	0
20	-83.15	83.15	0	-55.56	55.56	0
21	-70.71	70.71	0	-70.71	70.71	0
22	-55.56	55.56	0	-83.15	83.15	0
23	-38.27	38.27	0	-92.39	92.39	0
24	-19.51	19.51	0	-98.08	98.08	0
25	0	0	x	-100	100	0
26	19.51	19.51	1	-98.08	98.08	0
27	38.27	38.27	1	-92.39	92.39	0
28	55.56	55.56	1	-83.15	83.15	0
29	70.71	70.71	1	-70.71	70.71	0
30	83.15	83.15	1	-55.56	55.56	0
31	92.39	92.39	1	-38.27	38.27	0
32	98.08	98.08	1	-19.51	19.51	0

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

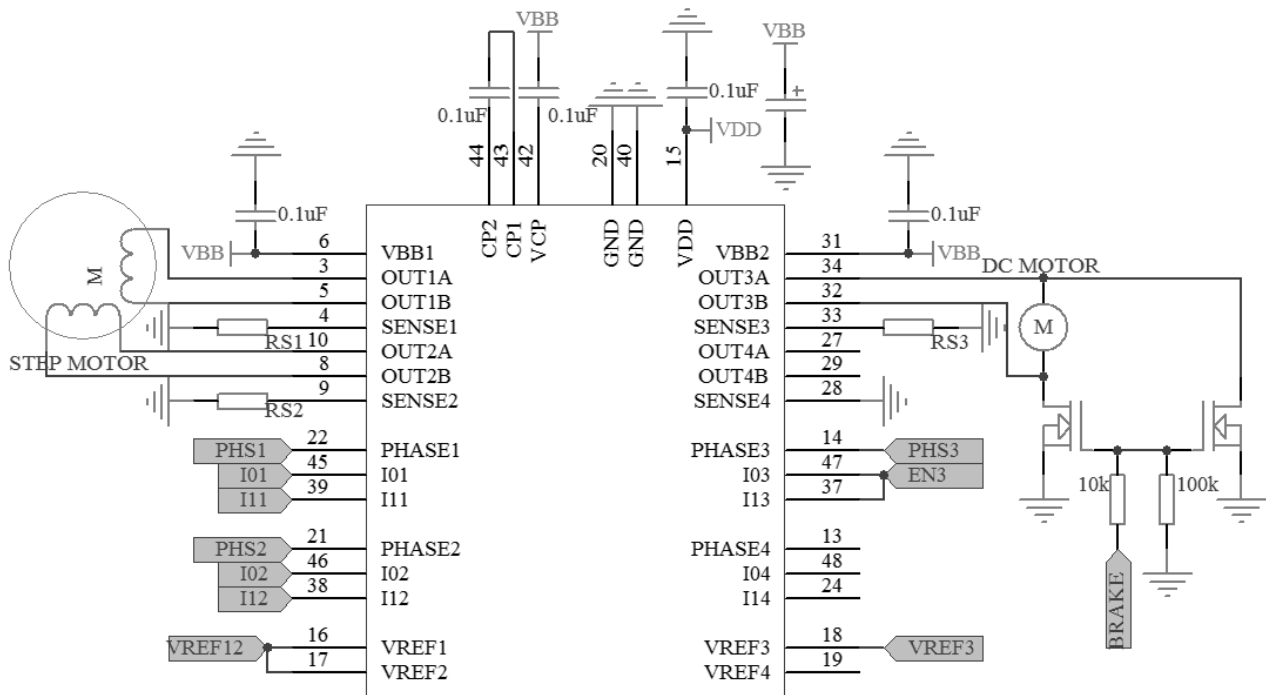


图 11.一路双极步进电机和一路有刷直流电机运用方案 1 参考电路图

此方案中，RY3988 同时驱动一路双极步进电机和一路有刷直流电机，外置两小 NMOS 管，用于实现 DC 电机刹车的功能，可选择 BSS138。

VREF3、RS3 用于限制有刷 DC 电机启动时和堵转时的最大电流。

BRAKE	EN3	PHS3	功能
0	0	1	正转
0	0	0	反转
0	1	x	滑行
1	1	x	刹车

在实现刹车功能时，请先将 EN3 置 1，再将 BRAKE 置 1。刹车完成后，请将 BRAKE 置回 0，以确保下次电机能正常工作。

## 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

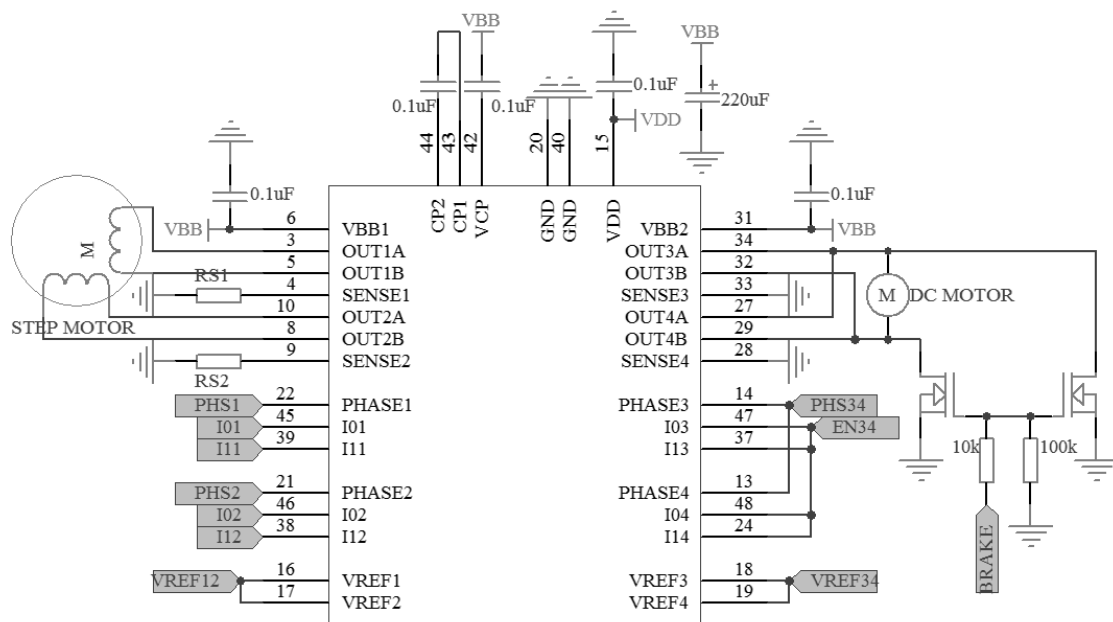


图 12.一路双极步进电机和一路有刷直流电机运用方案 2 参考电路图

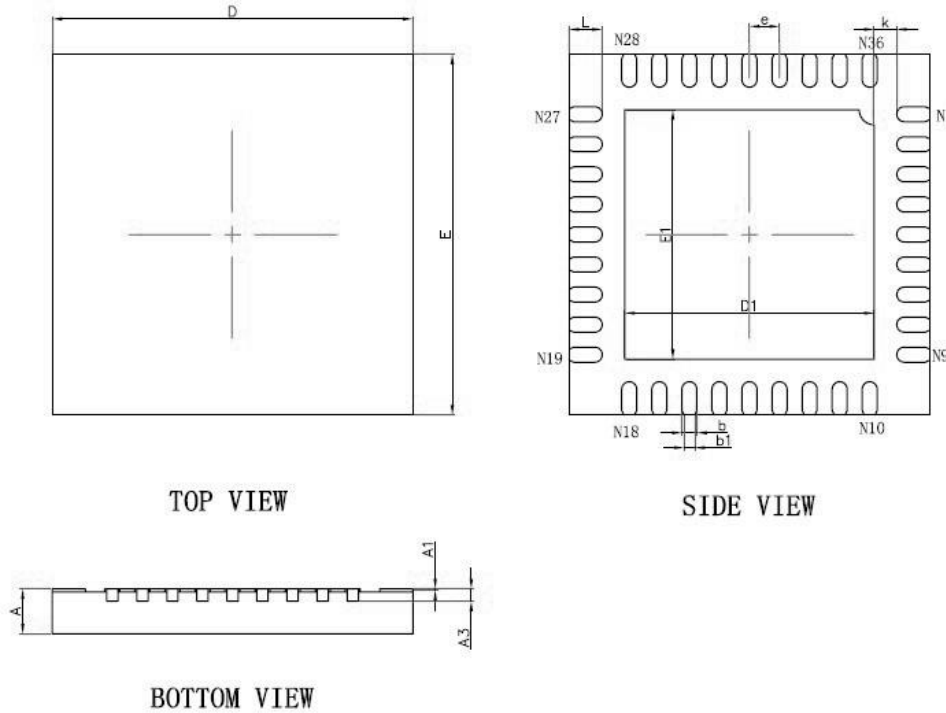
此方案中，RY3988 同时驱动一路双极步进电机和一路有刷直流电机。其中，H 桥 3 和 H 桥 4 并用输出，这样使得驱动能力加强。

注意，此方案中未带 sense 电阻，不能确保限制有刷 DC 电机启动时和堵转时的电流。可在软件中做优化，来防止大电流的出现。启动时，可使用软启动，逐步增大占空比，来实现电机的启动。最大电流限制可采用设置最大占空比来限制。

# 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

## 封装描述

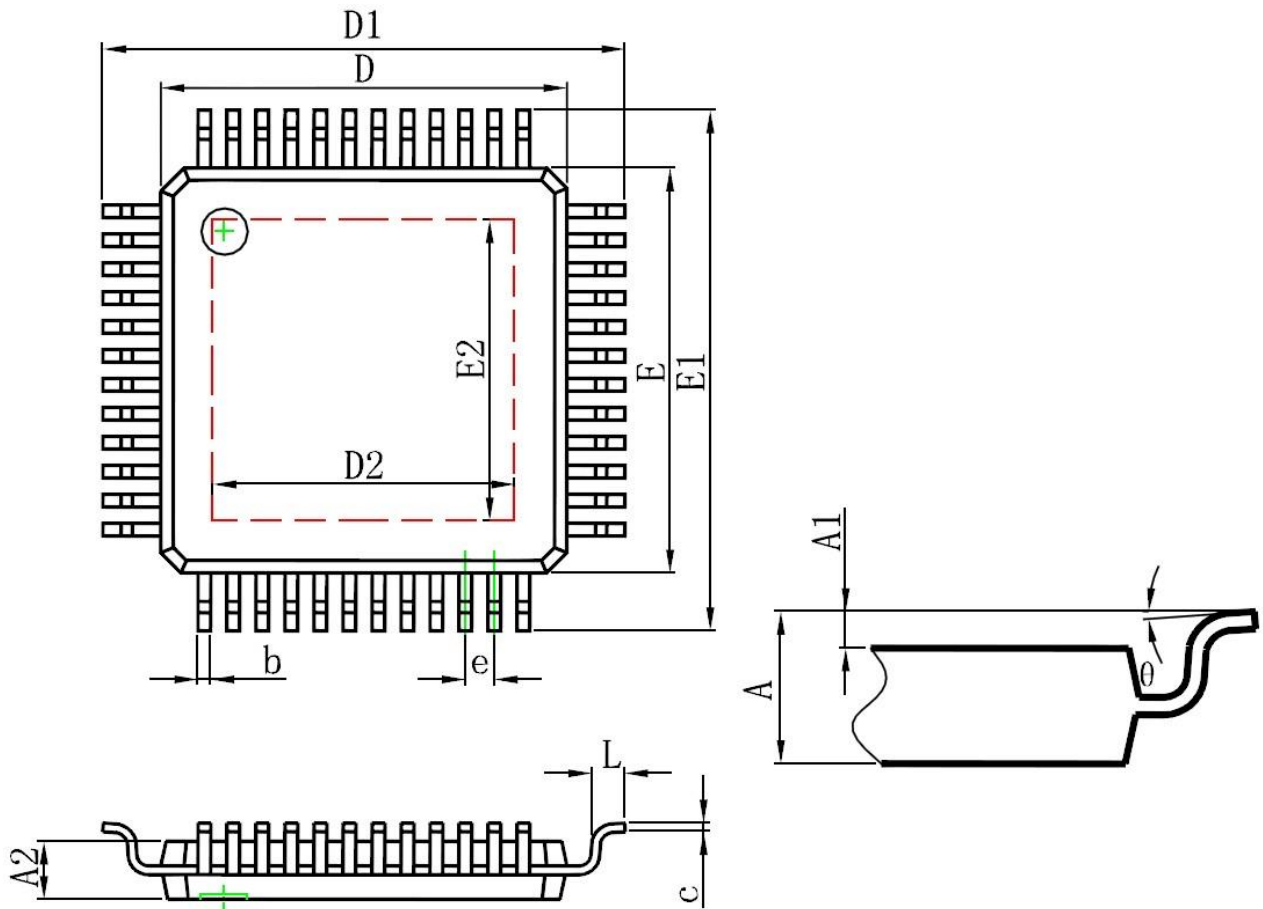
### QFN36-6×6 封装图



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	0.700	0.800	0.028	0.031
A1	0.000	0.050	0.000	0.002
A3	0.203REF.		0.008REF.	
D	5.900	6.100	0.232	0.240
E	5.900	6.100	0.232	0.240
D1	4.050	4.250	0.159	0.167
E1	4.050	4.250	0.159	0.167
b	0.180	0.300	0.007	0.012
b1	0.130	0.230	0.005	0.009
e	0.500TYP.		0.020TYP.	
k	0.200MIN.		0.008MIN.	
L	0.500	0.600	0.020	0.024



# 四路 DMOS 全桥电机驱动芯片

**TQFP48-7×7 封装图**


Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A		1.200		0.047
A1	0.050	0.150	0.002	0.006
A2	0.950	1.050	0.037	0.041
b	0.190	0.260	0.007	0.010
c	0.090	0.200	0.004	0.008
D	6.900	7.100	0.272	0.280
D1	8.850	9.150	0.348	0.360
D2	5.100	5.300	0.201	0.209
E	6.900	7.100	0.272	0.280
E1	8.850	9.150	0.348	0.360
E2	5.100	5.300	0.201	0.209
e	0.500(BSC)		0.020(BSC)	
L	0.450	0.750	0.018	0.030
θ	1°	7°	1°	7°