



QJ/DHA 01.37-2015

LD33035

## 直流无刷电机控制器

### 简介

LD33035（替代 MC33035）是一种高性能的第二代单片无刷直流电机控制器。用于三相或四相电机控制系统，可以实现全开环的全部动力控制功能。

功能包括：1、准确转动位置测序的转子译码器；2、参考与电源电压传感器的温度补偿；3、可预设频率的锯齿波振荡器；4、上部的三个集电极开路驱动器；5、下部的三个用于驱动功率场效应管 MOSFET 的大电流图腾柱电路。

保护功能包括：1、欠压锁定；2、可预设关断延迟时间的逐周期电流限制模式；3、内部热关断；4、可以连接到微处理器控制系统的故障输出端口。

电机控制功能包括：1、开环时间控制；2、正、反向运行控制；3、可控的启用和制动。

LD33035 设计用于运行角度为  $60^\circ / 300^\circ$  或  $120^\circ / 240^\circ$  的电相位传感器，也可以有效地控制直流无刷电动机。

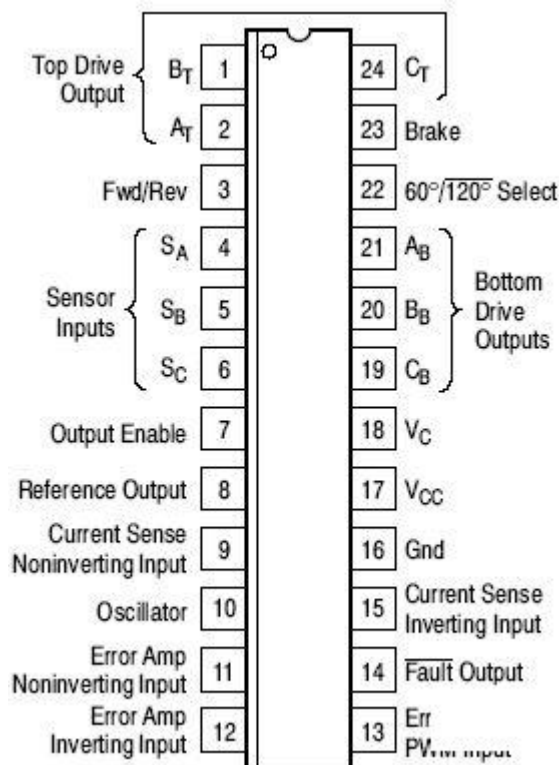
### 特点

- 工作电压 10~30 V
- 欠压锁定
- 6.25V 的参考电源电压传感器
- 闭环伺服应用的全接近误差放大器
- 可以大电流驱动控制外部的三个相位 MOSFET 桥
- 逐周期电流限制
- 可外部设定电流检测基准
- 内置热关断
- 可选的  $60^\circ/300^\circ$  或  $120^\circ/240^\circ$  相位传感器
- 能有效控制外部无刷直流电机的 H 桥 MOSFET

### 系列信息

封装	说明
SOP24L	管装，编带，无铅

### 管脚图



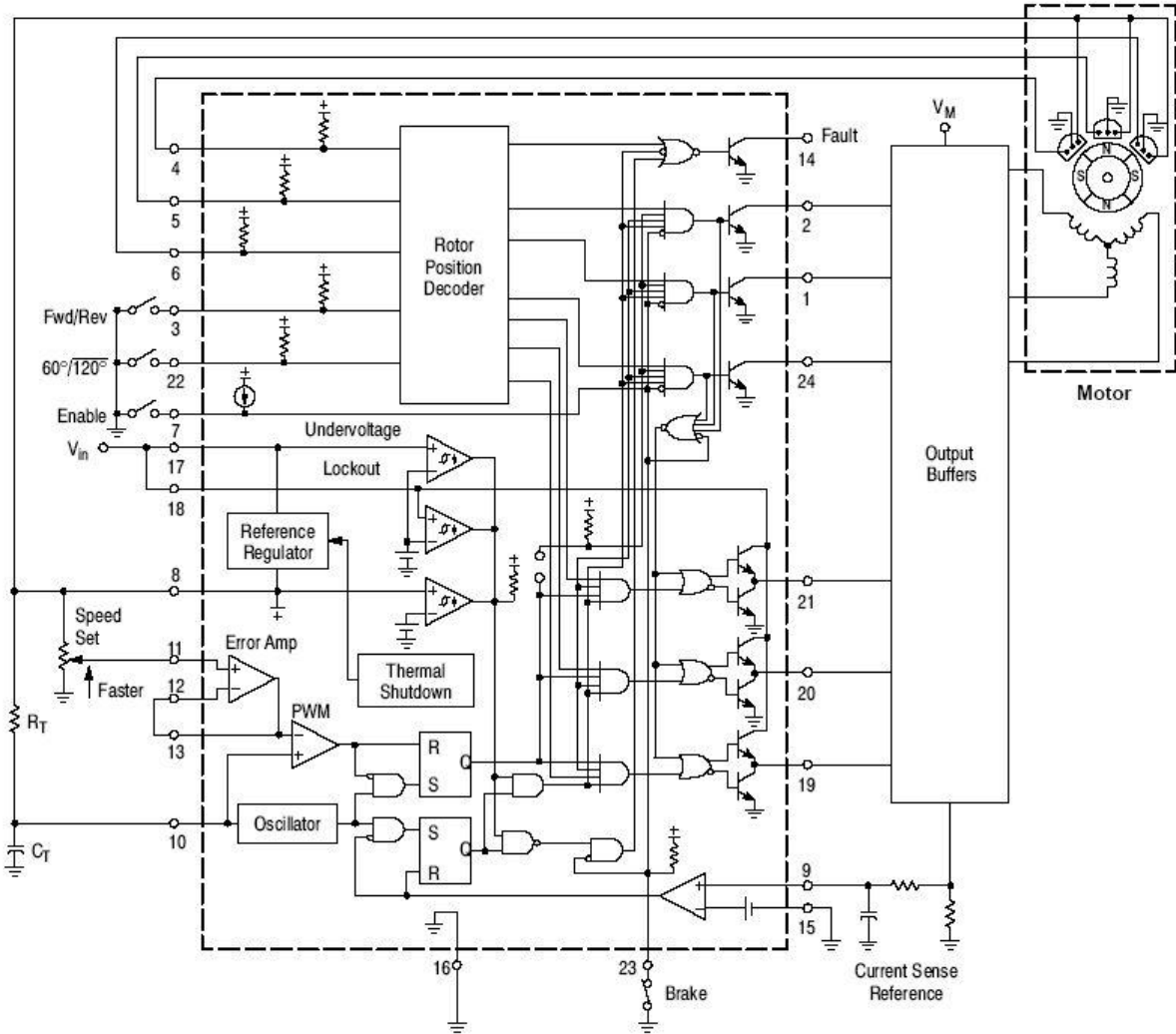


## 管脚功能描述

引脚	符号	功能
1、2、24	B <sub>T</sub> 、A <sub>T</sub> 、C <sub>T</sub>	上部的三个集电极开路驱动输出,设计用于驱动外部的上部功率开关晶体管。
3	Fwd/Rev	用于改变马达旋转方向的正向/反向输入。
4、5、6	S <sub>A</sub> 、S <sub>B</sub> 、S <sub>C</sub>	这三个传感器输入用于控制相序转换。
7	输出始能	高逻辑电平输入使电机旋转;低逻辑电平输入使电机滑行。
8	参考输出	该输出为振荡器定时电容 C <sub>T</sub> 提供充电流,和为误差放大器提供参考电压。也可作为传感器供电。
9	电流检测同步输入	在预设振荡周期内,该输入与管脚 15 比较,达到 100 mV 时,可以关断相对应的输出端口。该管脚通常连接到电流检测电阻的上端。
10	振荡器	通过调整 R <sub>T</sub> 、C <sub>T</sub> 可以预设振荡器频率。
11	误差放大器同相输入	这个输入端通常连接到速度设定电位器。
12	误差放大器反相输入	开环应用时,此输入通常连接到误差放大器输出(管脚 13)。
13	误差放大器输出/PWM 输入	闭环应用时,该管脚能提供补偿。
14	故障输出(低电平有效)	下面一个或几个条件可以使这个集电极开路输出有效低电平:无效的传感器输入码,使能输入为逻辑 0,电流检测输入大于 100mV(9 脚与 15 脚比较),欠压锁定激活和热关断。
15	电流检测同相输入	内部 100 mV 参考门限的管脚。通常连接到电流检测电阻的下端。
16	地	该管脚是控制电路的地,通常连接到电源地。
17	V <sub>cc</sub> 电源	该管脚是控制电路的正电源。V <sub>cc</sub> 工作范围是 10V~30V。
18	V <sub>c</sub>	该管脚电压用于设定下部驱动输出的高状态电压(V <sub>OH</sub> )。V <sub>c</sub> 工作范围是 10V~30V。控制电路可以在 V <sub>c</sub> 范围以外工作。
19、20、21	C <sub>B</sub> 、B <sub>B</sub> 、A <sub>B</sub>	这是三个下部的图腾柱驱动输出电路,设计用于直接驱动外面的下部功率开关晶体管。
22	60° 与 120° 选择	该管脚的高低电位状态用于选择 60° (高电位)或 120° (低电位)电相位传感器的输入。
23	制动	高电位输入允许电机运行,而低电位不允许电机运行,用于减速操作。



功能示意图





## 绝对最大值

参数	缩写	数值	单位
电源电压	V <sub>CC</sub>	40	V
数字型输入（管脚 3, 4, 5, 6, 22, 23）	V <sub>S</sub>	V <sub>ref</sub>	V
振荡器输入电流（拉电流或灌电流）	I <sub>OSC</sub>	30	mA
误差放大器输入电压范围（管脚 11, 12），注 1	V <sub>IR</sub>	-0.3~V <sub>ref</sub>	V
误差放大器输出电流（拉电流或灌电流），注 2	I <sub>OUT</sub>	10	mA
电流检测输入电压范围（管脚 9, 15）	V <sub>Sense</sub>	-0.3~5.0	V
故障输出电压	V <sub>CE(Fault)</sub>	20	V
故障输出灌电流	I <sub>Sink(Fault)</sub>	20	mA
上部驱动电压（管脚 1、2、24）	V <sub>CE(top)</sub>	40	V
上部驱动灌电流（管脚 1、2、24）	I <sub>Sink(top)</sub>	50	mA
下部驱动电源电压（管脚 18）	V <sub>C</sub>	30	V
下部驱动输出电流（灌电流或拉电流，管脚 19、20、21）	I <sub>DRV</sub>	100	mA
功率耗散和热特性			
DIP 封装：T <sub>A</sub> =85℃，最大功率耗散	P <sub>D</sub>	867	mW
热阻，结-环境	R <sub>θJA</sub>	75	℃/W
SOP 封装：T <sub>A</sub> =85℃，最大功率耗散	P <sub>D</sub>	650	mW
热阻，结-环境	R <sub>θJA</sub>	100	℃/W
工作结温	T <sub>J</sub>	150	℃
工作环境温度范围	T <sub>A</sub>	-40~+125	℃
储存温度范围	T <sub>stg</sub>	-65~+150	℃



电参数 ( $V_{CC}=V_C=20V$ ,  $R_T=4.7k$ ,  $C_T=10nF$ ,  $T_A=25^\circ C$ , 除非另外说明)

参数	缩写	最小值	典型值	最大值	单位
<b>参考</b>					
参考输出电压 ( $I_{ref}=1.0mA$ )	$V_{ref}$	5.9	6.24	6.5	V
输入电压调节 ( $V_{CC}=10$ 至 $30V$ , $I_{ref}=1.0mA$ )	$Reg_{line}$		1.5	30	mV
负载调节	$Reg_{load}$		16	30	mV
输出短路电流	$I_{SC}$	40	75		mA
参考下的电压闭锁门限	$V_{th}$	4.0	4.5	5.0	V
<b>误差放大器</b>					
输入失调电压	$V_{IO}$		0.4	10	mV
输入失调电流	$I_{IO}$		8.0	500	nA
输入偏置电流	$I_{IB}$		-46	-1000	
共模电压输入范围	$V_{ICR}$	0V 至 $V_{ref}$			V
开环电压增益 ( $V_O=3.0V$ , $R_L=15k$ )	$A_{VOL}$	70	80		dB
共模输入抑制比	$CMRR$	55	86		
电源抑制比	$PSRR$	65	105		
输出电压波动: 高端 ( $R_L=15k$ 对地)	$V_{OH}$	4.6	5.3		V
低端 ( $R_L=15k$ 对 $V_{ref}$ )	$V_{OL}$		0.5	1.0	
<b>振荡器</b>					
振荡频率	$f_{osc}$	22	25	28	kHz
相对电压的频率变化	$f_{osc}/\Delta V$		0.01	5.0	%
锯齿波峰电压	$V_{OSC(P)}$		4.1	4.5	V
锯齿波谷电压	$V_{OSC(V)}$	1.2	1.5		V
<b>逻辑输入</b>					
输入门限电压 (管脚 3、4、5、6、7、22、23)					
高端	$V_{IH}$	3.0	2.2		V
低端	$V_{IL}$		1.7	0.8	
传感器输入 (管脚 4、5、6)					
高电位输入电流 ( $V_{IH}=5.0V$ )	$I_{IH}$	-150	-70	-20	$\mu A$
低电位输入电流 ( $V_{IL}=0V$ )	$I_{IL}$	-600	-337	-150	

电参数 (续) ( $V_{CC}=V_C=20V$ ,  $R_T=4.7k$ ,  $C_T=10nF$ ,  $T_A=25^\circ C$ , 除非另外说明)

参数	缩写	最小值	典型值	最大值	单位
正向/反向, $60^\circ/120^\circ$ 选择 (管脚 3、22、23)					
高电位输入电流 ( $V_{IH}=5.0V$ )	$I_{IH}$	-75	-36	-10	$\mu A$
低电位输入电流 ( $V_{IL}=0V$ )	$I_{IL}$	-300	-175	-75	
输出始能					
高电位输入电流 ( $V_{IH}=5.0V$ )	$I_{IH}$	-60	-29	-10	$\mu A$
低电位输入电流 ( $V_{IL}=0V$ )	$I_{IL}$	-60	-29	-10	
电流限制比较器					
门限电压	$V_{th}$	85	101	115	mV
共模电压输入范围	$V_{ICR}$		3.0		V
输入偏置电流	$I_{IB}$		-0.9	-5.0	$\mu A$
输出和功率					
灌电流的上部驱动输出饱和压降 ( $I_{sink}=25mA$ )	$V_{CE(sat)}$		0.5	1.5	V
上部驱动输出关闭的漏电流 ( $V_{CE}=30V$ )	$I_{DRV(leak)}$		0.06	100	$\mu A$
上部驱动开关时间 ( $C_L=47pF$ , $R_L=1.0k$ )					
上升时间	$t_r$		107	300	ns
下降时间	$t_f$		26	300	
下部驱动输出电压					
高电位 ( $V_{CC}=20V$ , $V_C=30V$ , $I_{source}=50mA$ )	$V_{OH}$	$V_{CC}-2.0$	$V_{CC}-1.1$		V
低电位 ( $V_{CC}=20V$ , $V_C=30V$ , $I_{sink}=50mA$ )	$V_{OL}$		1.5	2.0	
下部驱动开关时间 ( $C_L=1000pF$ )					
上升时间	$t_r$		38	200	ns
下降时间	$t_f$		30	200	
灌电流的故障输出饱和压降 ( $I_{sink}=16mA$ )	$V_{CE(sat)}$		225	500	mV
故障输出关闭的漏电流 ( $V_{CE}=20V$ )	$I_{FLT(leak)}$		1.0	100	$\mu A$
低压锁存: 驱动输出始能 ( $V_{CC}$ 或 $V_C$ 增加)	$V_{th(on)}$	8.2	8.9	10	V
滞后	$V_H$	0.1	0.2	0.3	
电源电流: 管脚 17 ( $V_{CC}=V_C=20V$ )	$I_{CC}$		12	16	mA
管脚 17 ( $V_{CC}=20V$ , $V_C=30V$ )			14	20	
管脚 18 ( $V_{CC}=V_C=20V$ )	$I_C$		3.5	6.0	
管脚 18 ( $V_{CC}=20V$ , $V_C=30V$ )			5.0	10	

注: 1、输入共模电压或输入信号电压不应超过-0.3V。

2、调节电压不得超过-0.3 至  $V_{REF}$  范围。丹东华奥电子有限公司 <http://www.huaoe.com>



## 介绍

LD33035 (替代 MC33035) 是一种单片的直流无刷电机控制器, 它包含了开环控制的三、四相电机控制系统所需的全部功能。此外, 也可以用于控制直流有刷电机。采用双极性模拟技术, 其全功能和高耐用性非常适合与恶劣的工业环境。

功能包括: 1、准确转动位置测序的转子译码器; 2、参考与电源电压传感器的温度补偿; 3、可预设频率的锯齿波振荡器; 4、全接近误差放大器; 5、脉宽调制比较器; 6、上部的三个集电极开路驱动器; 7、下部的三个用于驱动功率场效应管 MOSFET 的大电流图腾柱电路。

保护功能包括: 1、欠压锁定; 2、可预设关断延迟时间的逐周期电流限制模式; 3、内部热关断; 4、可以连接到微处理器控制系统的故障输出端口。

电机控制功能包括: 1、开环时间控制; 2、正、反向运行控制; 3、可控的启用和制动。4、可以通过  $60^\circ / 120^\circ$  选择引脚设置转子位置解码器, 用于  $60^\circ$  或  $120^\circ$  的电机相位传感器输入。

## 方框图功能说明

典型应用方框图见图 19, 其它各种应用方框图见图 36, 38, 39, 43, 45 和 46。下面各种方框图中关于内部功能和特性的说明, 都要参照图 19 和图 36。

## 转子位置译码器

内部转子位置译码器监控三个传感器输入 (管脚 4, 5, 6) 为上部和下部驱动提供适当的输出顺序。传感器输入端口设计为可以直接连接到集电极开路型霍尔效应开关或光电耦合器 (通过旋转开槽孔)。内部上拉电阻可以保证外部器件的小信号输入有效。兼容典型门限为 2.2 V 的 TTL 电平输入。LD33035 设计用于常用的三、四相位传感器的电动机控制。通过管脚 22 ( $60^\circ / 120^\circ$  选择输入) 可以便利地完成 LD33035 内部设置, 能够控制  $60^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $240^\circ$  和  $300^\circ$  电相位传感器的电动机。三个传感器输入能够组合成八组可能的输入代码, 其中的六组用于有效转子位置。剩下的两组代码是无效的, 通常是由某个传感器线的开路或短路产生。六组有效输入代码, 使解码器可以控制电机转子的角度范围达到  $60^\circ$ 。

正向/反向输入端 (管脚 3) 用于改变电机的旋转方向, 方法是反转定子绕组的电压方向。当一个指定的传感器输入代码从高变到低 (例如 100), 改变了这个输入的状态, 将启动对应相同字母标识的 (AT ~ AB, BT ~ BB, CT ~ CB) 的顶部和底部驱动输出进行交换。同时, 相位顺序反转, 电机改变旋转方向。

输出始能 (引脚 7) 用于电机的开/关控制。悬空时, 内部 25 $\mu$ A 电流源能使上部和下部驱动顺序输出。当接地时, 上部驱动输出关闭, 并强制拉低下部驱动器, 使电机进入滑行状态和故障输出端口低电平有效。

电机的动态制动要求有一定的安全范围, 在 LD33035 中有这种设计。制动是通过将制动输入 (管脚 23) 转为高电平来完成的。这导致上部驱动输出关闭, 下部驱动打开, 短路后的电机会产生反电动势。制动输入无条件地优先于其它所有输入。

丹东华奥电子有限公司 <http://www.huaaoe.com>



这个端口悬空或断开连接时，端口内部直接有 40k $\Omega$  的上拉电阻，确保制动开关系统安全有效。相位逻辑真值表见图 20。一个四输入或非门（NOR）用于监控制动输入，之后，输入到三个上部驱动输出晶体管。其目的是为了禁止制动，直到上部驱动输出达到高电位。这有助于防止同时导通上部和下部功率开关。在半波电机驱动应用中，不需要上部驱动输出，通常保持断开状态。在或非门（NOR）感测到上部驱动输出晶体管的基极电压的这些条件下，才能完成制动。

### 误差放大器

高性能、全补偿、连接有输入和输出（管脚 11、12、13）的误差放大器，可以方便地进行闭环电机速度控制。该放大器具有典型的 80dB 直流电压增益，0.6MHz 的增益带宽，以及从地 GND 到 Vref 的宽共模输入电压范围。在大多数的开环速度控制应用中，放大器设置为跟随连接到速度设定电压同相输入端的单一电压增益。其它设置方法见图 31 至图 35。

### 振荡器

通过定时元件 RT 和 CT 设置内部锯齿波振荡器的频率。电容 CT 通过电阻 RT 由参考输出（管脚 8）进行充电，通过内部放电晶体管进行放电。锯齿波的波峰、波谷典型电压分别为 4.1V 和 1.5V。用于在电机噪声和输出切换效率之间进行良好折衷选择，建议振荡频率范围在 20 至 30kHz 之间。定时元件选择见图 1。

### PWM 脉宽调制器

用脉冲宽度调制的方式控制电机速度，通过改变每个相位期间定子绕组上的平均电压时间宽度，进行有效的能量控制。当 CT 放电时，振荡器关闭上部和下部驱动输出。当误差放大器的输出大于 CT 的正向锯齿波时，PWM 比较器开启上部驱动输出，关闭下部驱动输出。脉冲宽度调制器的时序见图 21。只用下部驱动输出的脉冲宽度调制来控制转动速度。

### 电流限制

电机严重过载时的连续运行会导致过温和最终损坏。用逐周期电流限制可以有效地防止这种损坏，也就是每个周期检测一次。监控每次输出开关导通时间内建立的定子电流实现逐周期电流限制，在检测到过电流时，立即关闭开关，并保持关闭状态直到振荡器的锯齿波上升沿到达顶点。三个下部开关晶体管（Q4，Q5，Q6）串联取样电阻器 RS 连接到参考地，定子电流经由 RS 转换为取样电压，见图 36。通过电流检测输入端口（管脚 9 和 15）监控取样电阻两端产生的电压，并与内部 100mV 参考电压进行比较。电流检测比较器输入有大约 3.0V 的共模输入范围。在超过 100mV 电流检测门限时，比较器重置下部锁存器并关闭输出导通开关。

取样电阻计算如下：
$$R_S = \frac{0.1}{I_{\text{stator(max)}}$$

在过电流状态时故障输出端口激活低电位有效。在任何设定的振荡器周期内，PWM 的双锁存功能确保只有一个输出脉冲信号导通，无论关闭输出是误差放大器还是限流比较器。





## 参考

内部的 6.25V 调节器（管脚 8），为振荡器定时电容提供充电电流，为误差放大器提供参考电压，并且可以在低电压应用时直接为传感器提供 20mA 供电电流。在高电压应用中，调节器能够在需要时转换为关闭集成电路的所有功率消耗。通过外加一个旁路晶体管，这是很容易实现的，见图 22。可以简单的选择用这个 6.25V 基准电压控制 NPN 电路，这里， $V_{ref}-V_{BE}$  要大于过温时霍尔效应传感器所需的最小电压。选择合适的晶体管和足够的散热，可以提高放大器的负载电流。

## 欠压闭锁

内部有一个三合一欠压锁定，用于防止损坏 IC 和外部电源开关晶体管。在低电压的条件下，它保证 IC 和传感器的全功能应用，并且有足够的下部驱动输出电压。分别用 9.1V 门限的独立比较器监测集成电路的正电源 VCC 和下部驱动电源 VC。这样在驱动标准的功率 MOSFET 器件时，确保有足够的栅极驱动，来实现低通态漏源电阻 RDS (ON)。从参考输出直接为霍尔传感器供电，在参考输出电压低于 4.5V 时会导致传感器不能正常工作。第三个比较器用于检测这种情况。如果一个或多个比较器检测到欠压状态，故障输出被激活，上部驱动器关闭，下部驱动器处于低输出状态。每一个比较器都有滞后电路，防止在各自超过门限时产生抖动。

## 故障输出

集电极开路的故障输出（管脚 14），目的是在系统发生故障时提供诊断信息。它有 16mA 的吸收电流能力，可直接驱动发光二极管指示。此外，它能很容易地用与 TTL/CMOS 微处理器控制系统的逻辑接口。下面一个或多个条件发生时，故障输出低电平：

- 1) 无效的传感器输入代码
- 2) 输出始能为逻辑[0]
- 3) 电流检测输入大于 100mV
- 4) 一个或多个比较器有效，激活欠压闭锁
- 5) 热关机，超过最高结温

这个独立的输出也可以用来判断电机启动和过载状态的持续运行。在故障输出和始能输入之间加入 RC 网络，可以设置一个过流关断锁存的延迟时间。见图 23，附加的电路提供额外的起动转矩，使有高惯性负载的电机系统能够顺利起动，同时还保留了过流保护。预定时间可以通过设定一个高于额定值的电流限制来完成。在长时间的过流条件下，电容 CDLY 将被充电，使始能输入端口超过门限转为低状态。然后，从故障输出端口到输出始能端口的正反馈回路形成一个闭锁。一旦由电流检测输入进行设置，它只能通过短路 CDLY 或电源复位进行重设。

## 驱动输出

三个上部驱动输出（管脚 1、2、24）是集电极开路 NPN 晶体管，能够吸收 50mA 电流，最低击穿电压 30V。用图 24 和图 25 所示的接口电路，可以实现高电压应用。



三个图腾柱下部驱动输出（管脚 19、20、21）特别适合于直接驱动 N 沟道 MOSFET 或 NPN 双极晶体管，见图 26、27、28、29。每个输出的拉电流和灌电流高达 100mA。下部驱动输出电路由电源 VC（管脚 18）供电。这个独立的 VCC 电源输入，能够让设计师灵活地调整驱动电压。当用大于 20V 的 VCC 驱动功率 MOSFET 系统时，这些输入端口要连接齐纳钳位二极管，以防止 MOSFET 栅极击穿。

控制电路的地（管脚 16）和电流检测反相输入端的地（管脚 15），必须经由不同的路径返回到总输入源地。

**热关断**

内部热关断电路在集成电路超过最高结温时提供保护。典型值为 170° C，激活时集成电路的输出始能端口转换为低电位。

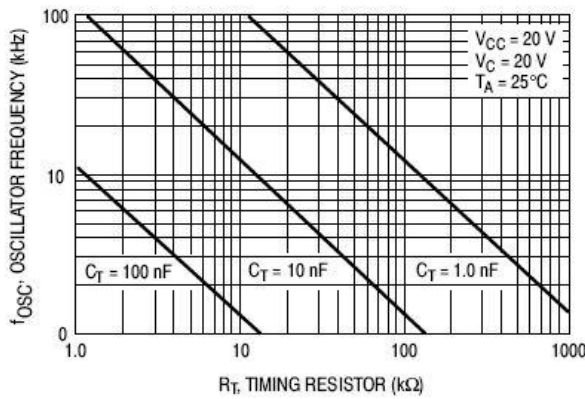
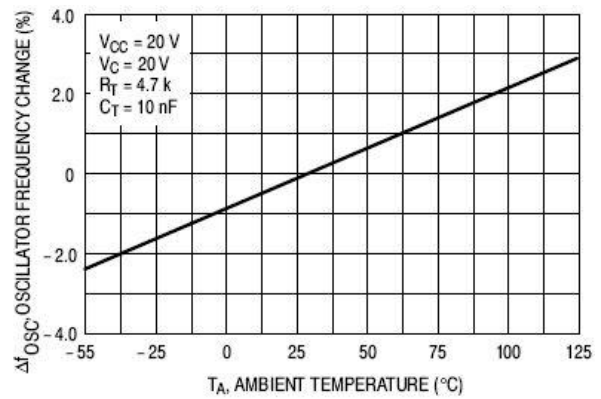


图 1. 振荡频率与定时电阻 图



2. 振荡频率变化与温度

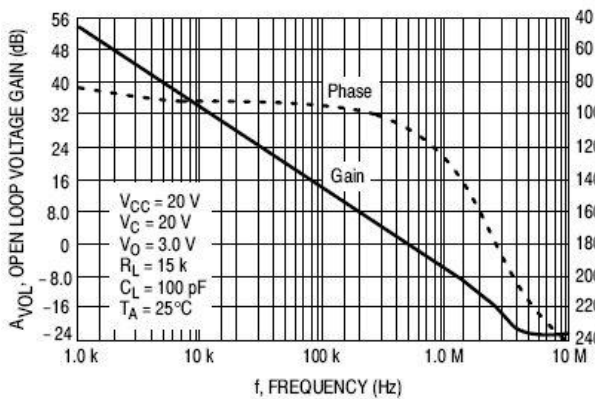


图 3. 误差放大器开环增益和相位与频率

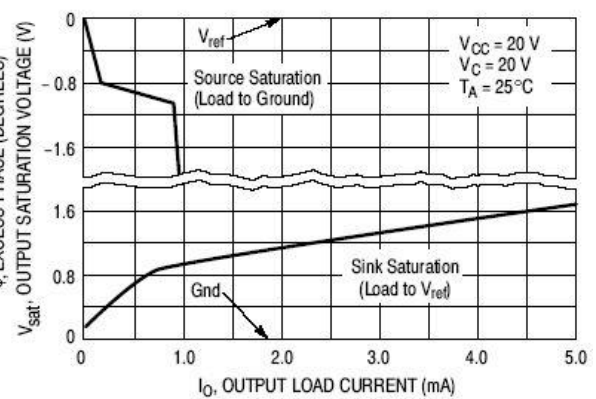


图 4. 误差放大器输出饱和电压与负载电流

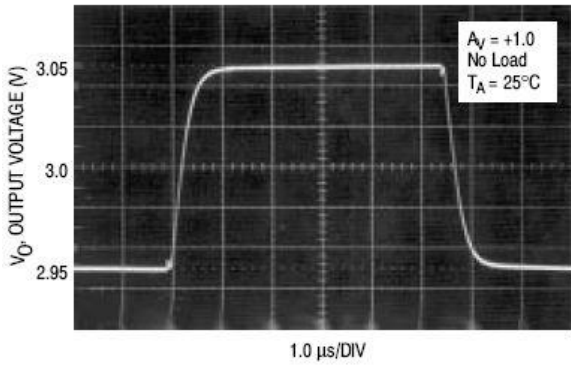


图 5. 误差放大器小信号瞬态响应

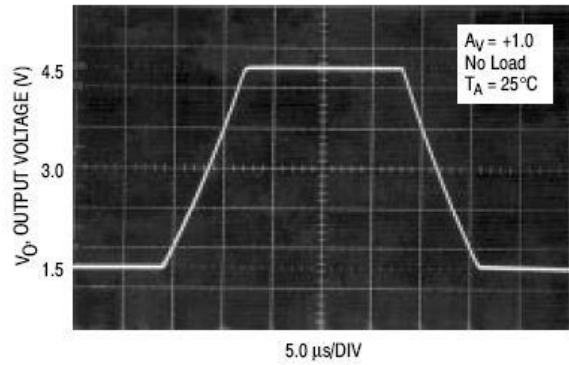


图 6. 误差放大器大信号瞬态响应

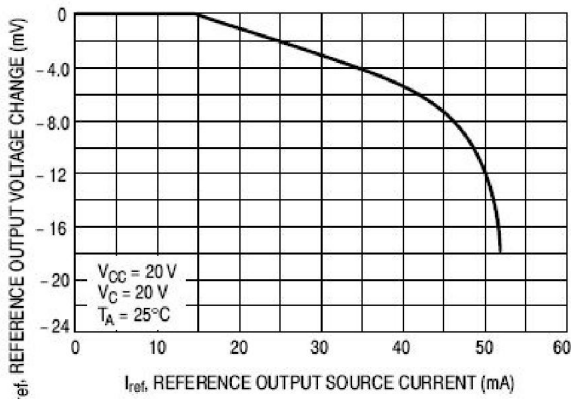


图 7. 参考输出电压变化与输出源电流

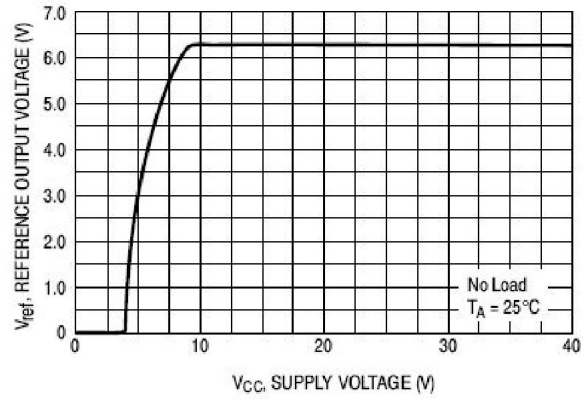


图 8. 参考输出电压与电源电压

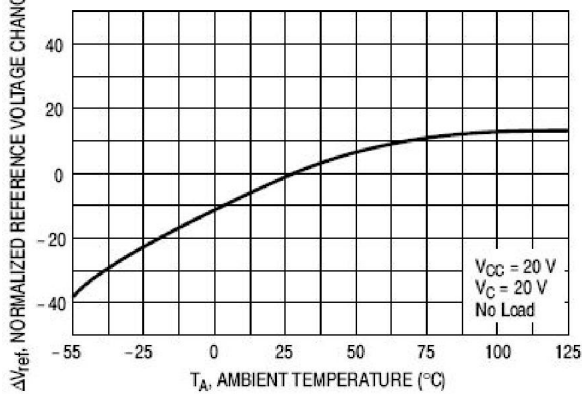


图 9. 参考输出电压与温度

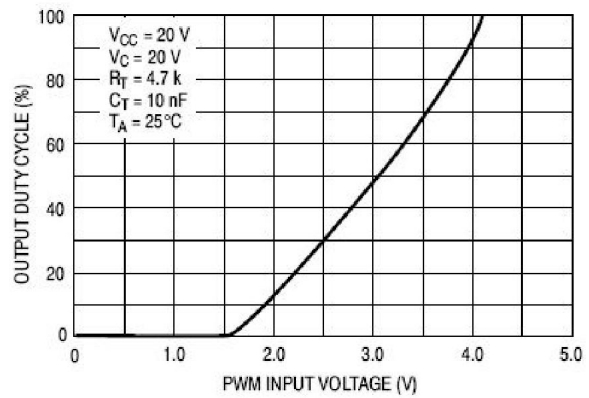


图 10. 输出占空比与 PWM 输入电压

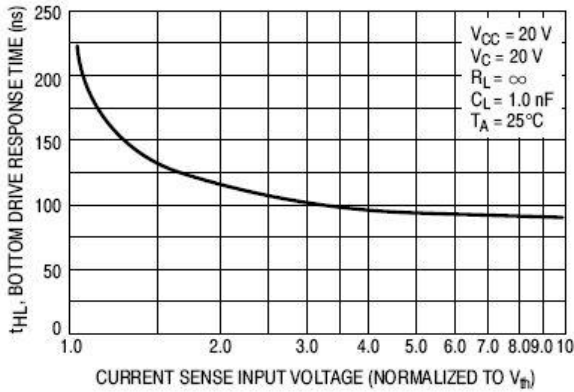


图 11. 下部驱动响应时间与电流检测输入电压

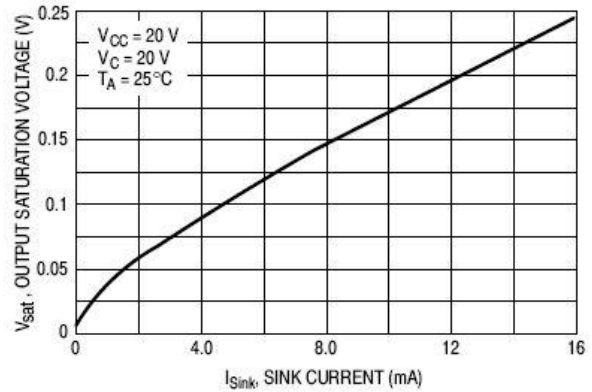


图 12. 饱和故障输出与灌电流

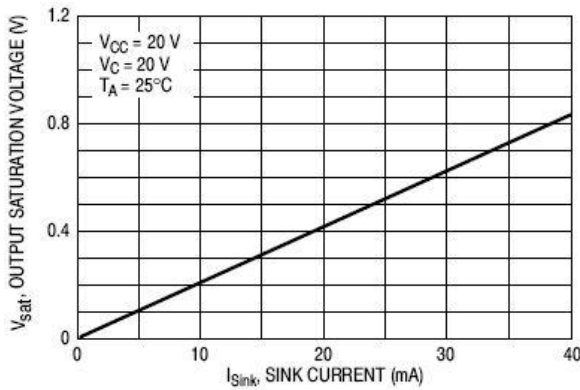


图 13. 上部驱动输出饱和电压与灌电流

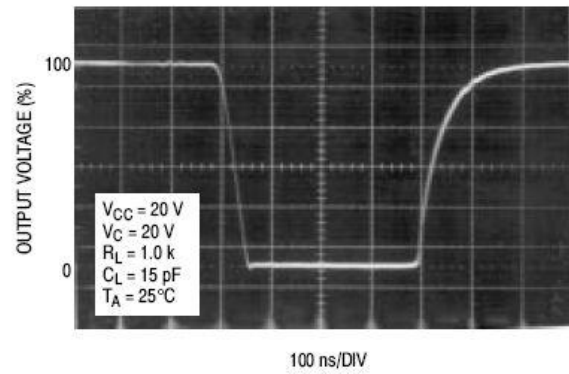


图 14. 上部驱动输出波形

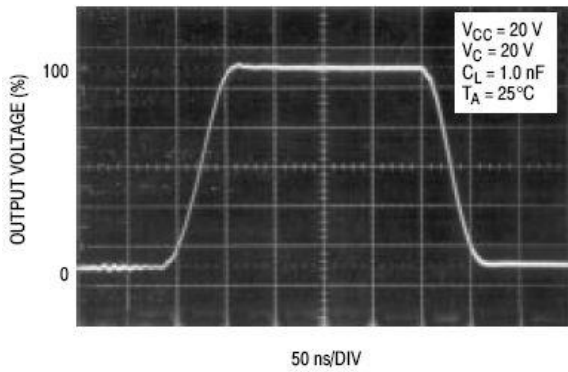


图 15. 下部驱动输出波形

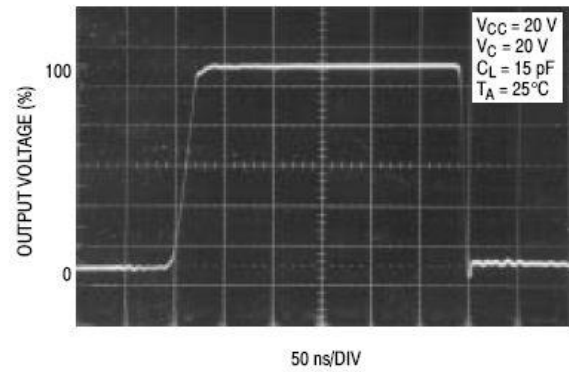


图 16. 下部驱动输出波形

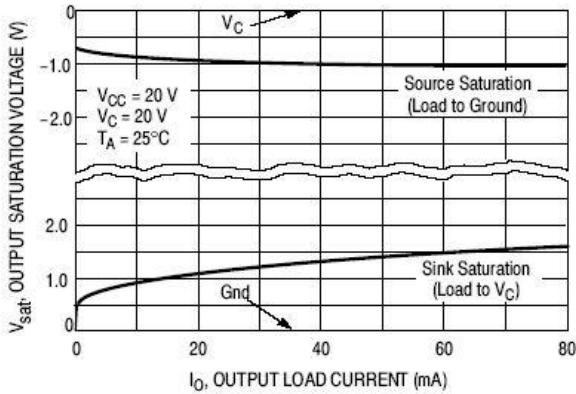


图 17. 下部驱动输出饱和电压与负载电流

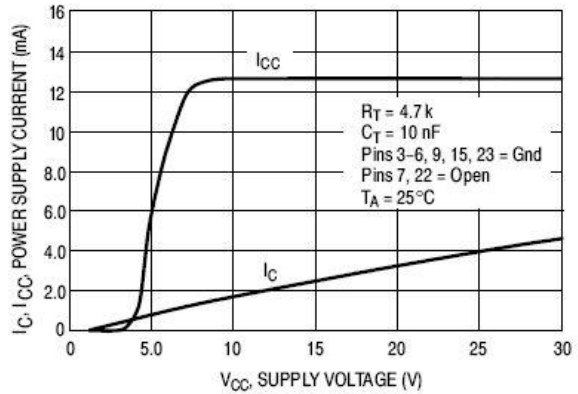


图 18. 功率和下部驱动电源电流与电源电压

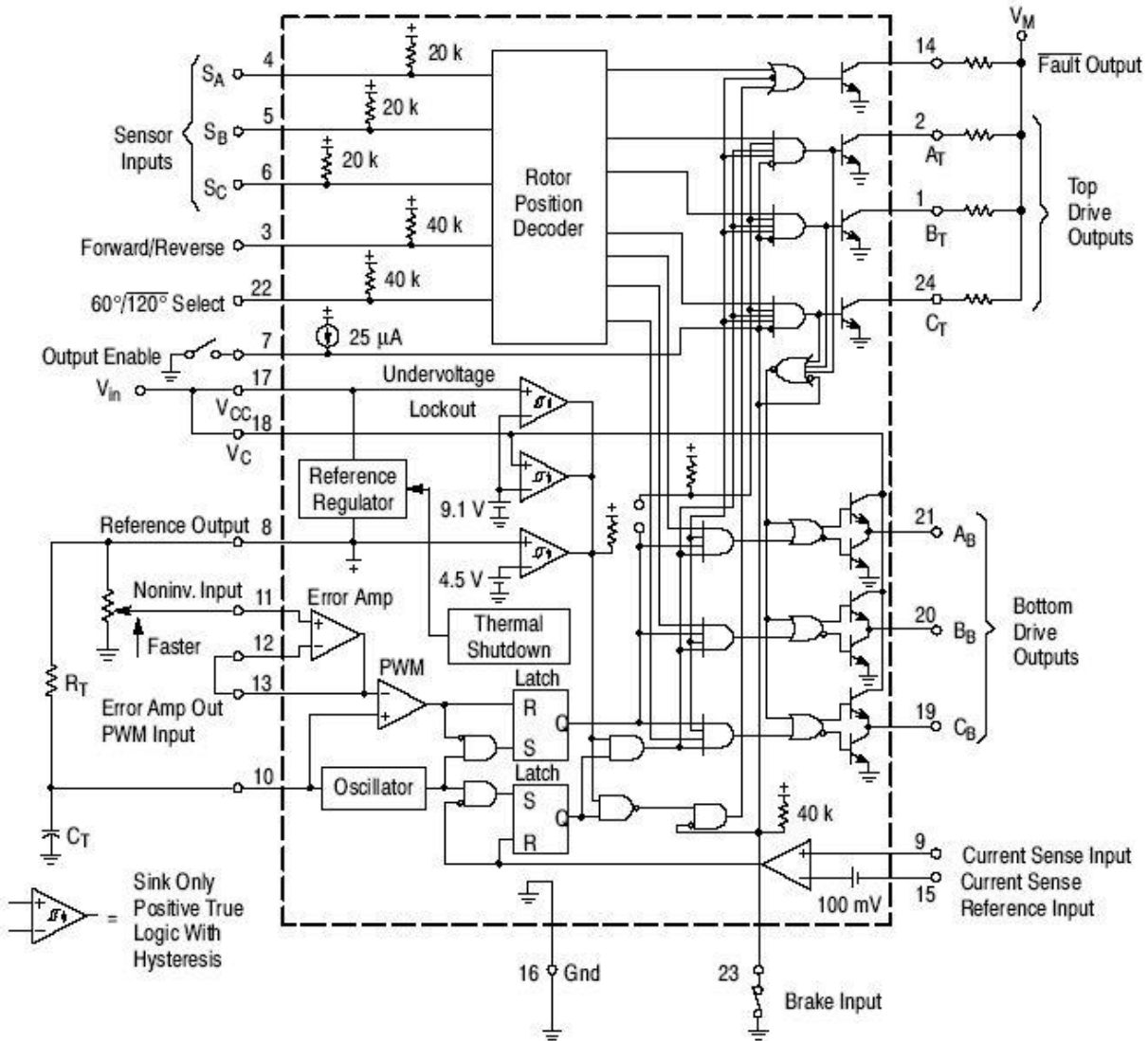


图 19. 典型方框图



Inputs (Note 2)										Outputs (Note 3)							
Sensor Electrical Phasing (Note 4)						F/R	Enable	Brake	Current Sense	Top Drives			Bottom Drives				Fault
60°			120°							A <sub>T</sub>	B <sub>T</sub>	C <sub>T</sub>	A <sub>B</sub>	B <sub>B</sub>	C <sub>B</sub>		
S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>												
1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	(Note 5) F/R = 1
1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	
1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	
0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	
0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	
0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	
1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	(Note 5) F/R = 0
1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	
1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	
0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	
0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	
0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	
1	0	1	1	1	1	X	X	0	X	1	1	1	0	0	0	0	(Note 6) Brake = 0
0	1	0	0	0	0	X	X	0	X	1	1	1	0	0	0	0	
1	0	1	1	1	1	X	X	1	X	1	1	1	1	1	1	0	(Note 7) Brake = 1
0	1	0	0	0	0	X	X	1	X	1	1	1	1	1	1	0	
V	V	V	V	V	V	X	1	1	X	1	1	1	1	1	1	1	(Note 8)
V	V	V	V	V	V	X	0	1	X	1	1	1	1	1	1	0	(Note 9)
V	V	V	V	V	V	X	0	0	X	1	1	1	0	0	0	0	(Note 10)
V	V	V	V	V	V	X	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	(Note 11)

图 20. 三相、六步换相真值表

注：1、V=六个有效传感器或驱动器组合之一，X=不关注。

2、数字输入（管脚 3、4、5、6、7、22、23）都兼容 TTL。电流检测输入（管脚 9）相对与管脚 15 有一个 100mV 门限。<85mV 定义为逻辑 0 输入，>115mV 定义为逻辑 1 输入。

3、故障和上部驱动输出是集电极开路设计，低状态（0）有效。

4、60° /120° 选择（管脚 22）为高（1），设置为 60° 传感器电相位输入。为低（0），设置为 120° 传感器电相位输入。

5、有效的 60° 或 120° 传感器组合对应有效的上部和下部驱动输出。

6、无效的传感器输入相对制动=0；所有的上部和下部驱动关，故障输出低。

7、无效的传感器输入相对制动=1；所有的上部和下部驱动开，故障输出低。

8、有效的 60° 或 120° 传感器输入相对制动=1；所有上部驱动关和下部驱动开，故障输出高。

9、有效的传感器输入相对制动=1 和始能=0；所有上部驱动关和下部驱动开，故障输出低。

10、有效的传感器输入相对制动=0 和始能=0；所有上部和下部驱动关，故障输出低。

11、所有下部驱动关，故障输出低。

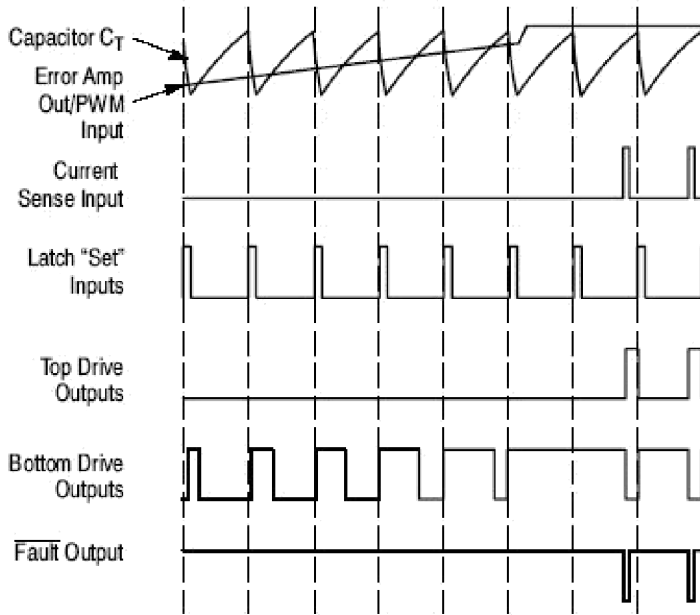


图 21. 脉宽调制时序图

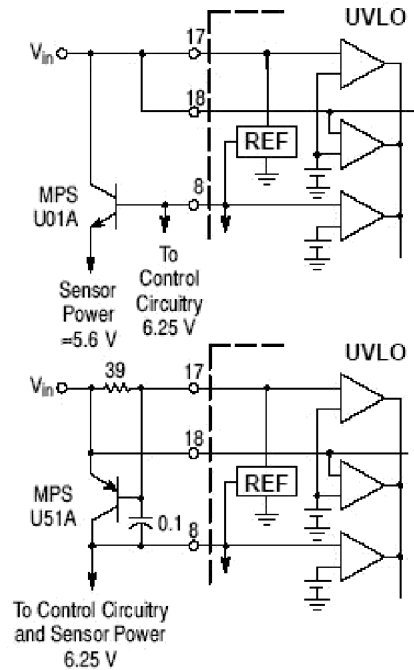
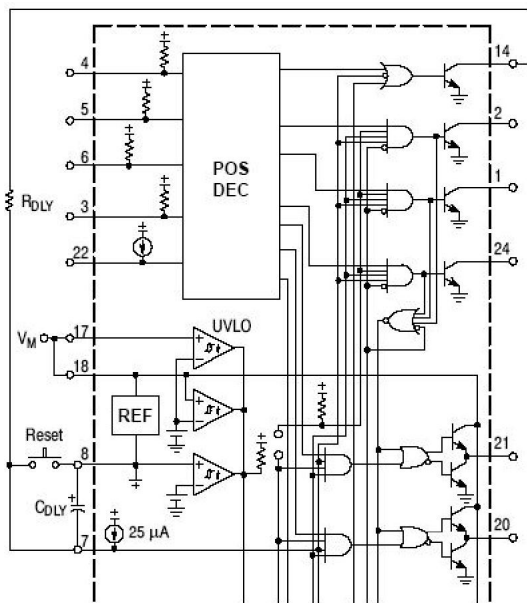


图 22. 参考输出缓冲

见图 22，NPN 电路用于为功率型霍尔和光电传感器供电，这样可以减少输出电压的温度效应。PNP 电路稍微复杂一些，但也能更精确地控制温度。两个电路都能限制电流。



$$t_{DLY} \approx R_{DLY} C_{DLY} \ln \left( \frac{V_{ref} - (I_{IL} \text{ enable } R_{DLY})}{V_{th} \text{ enable} - (I_{IL} \text{ enable } R_{DLY})} \right)$$

$$\approx R_{DLY} C_{DLY} \ln \left( \frac{6.25 - (20 \times 10^{-6} R_{DLY})}{1.4 - (20 \times 10^{-6} R_{DLY})} \right)$$

图 23. 过电流停机延迟闭锁时间

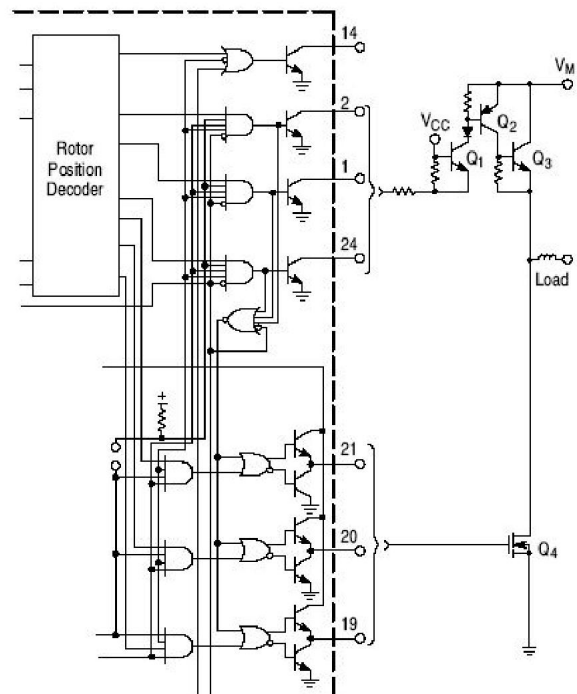


图 24. 用 NPN 功率晶体管的高压接口



见图 24，在电机电压  $V_M$  高与  $V_{CC}$  时， $V_{CC}$  为晶体管  $Q_1$  的基极供电。 $Q_1$  集电极连接的二极管用于  $V_M$  低与  $V_{CC}$  时。

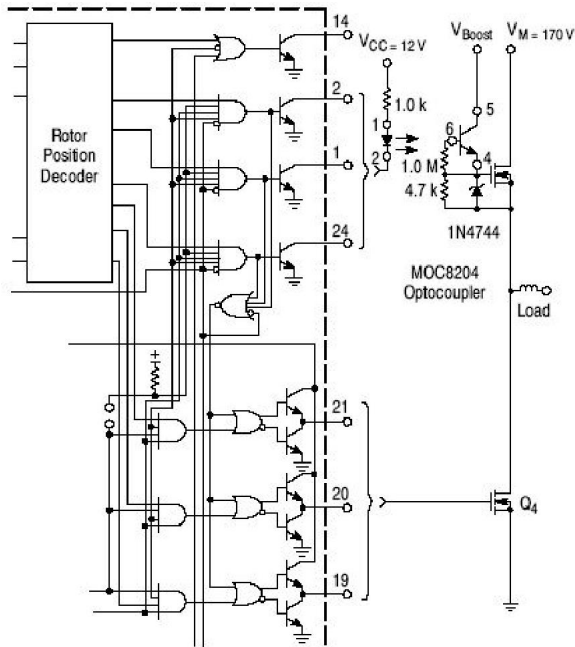


图 25. 用 N 沟道功率 MOSFET 的高压接口

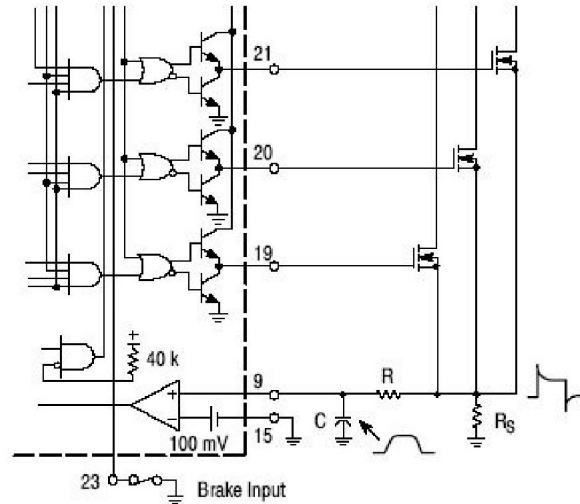


图 26. 电流尖峰抑制波形

见图 26，RC 滤波器用于消除边沿尖峰，确保电流限制波形稳定。 $R_S$  要求用低电感电阻。

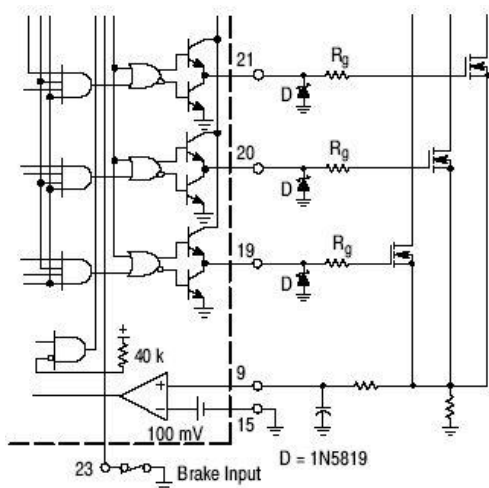


图 27. MOSFET 驱动

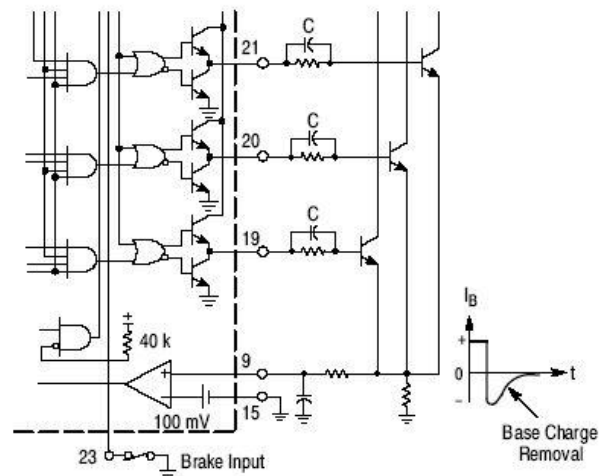


图 28. 双极晶体管驱动

见图 27，栅极电阻  $R_g$  用于抑制高频振荡时的 MOSFET 输入电容和栅极-源电路的线路感应。二极管  $D$  用于防止进入下部驱动输出的负电流超过 50mA。

见图 28，用图腾柱输出极的电容  $C$ ，可提供基极负电流用来提高晶体管的关断速度。



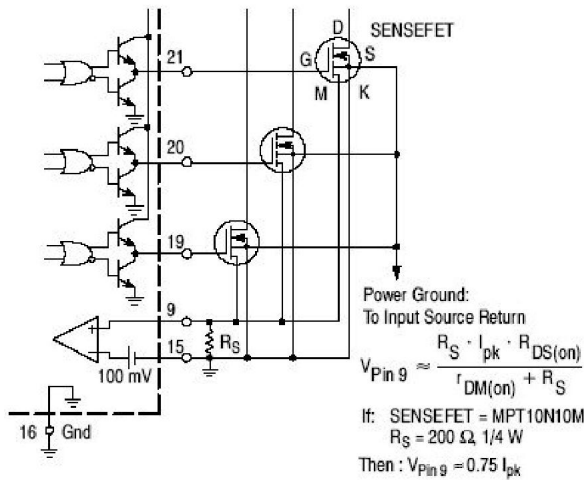
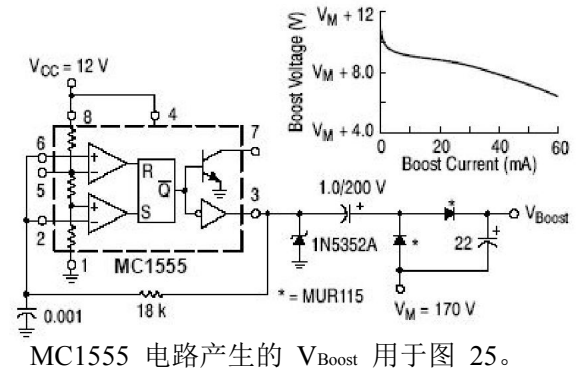


图 29. 功率 MOSFET 的电流检测图

见图 29，控制电路的地（管脚 16）和电流检测反相输入的地（管脚 15）必须用不同的路径返回到总输入源地。



30. 高压辅助电源

MC1555 电路产生的 VBoost 用于图 25。

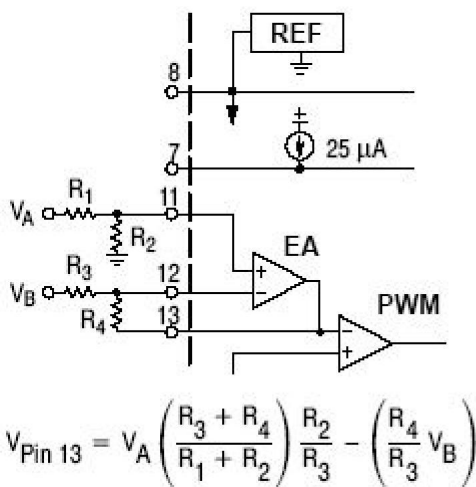


图 31. 速度控制的差分输入器

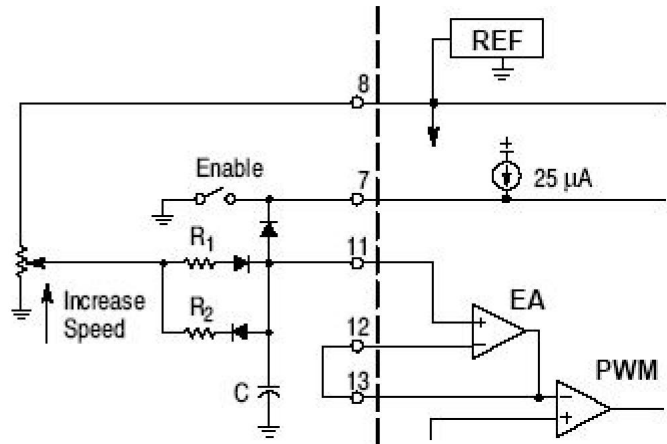


图 32. 加速/减速控制

见图 32，用电阻 R1 和电容 C 设定加速时间常数，而 R2 控制减速。改变不同速度设置时的最小时间常数，要求 R1 和 R2 的值应至少是速度设定电位器的十倍。

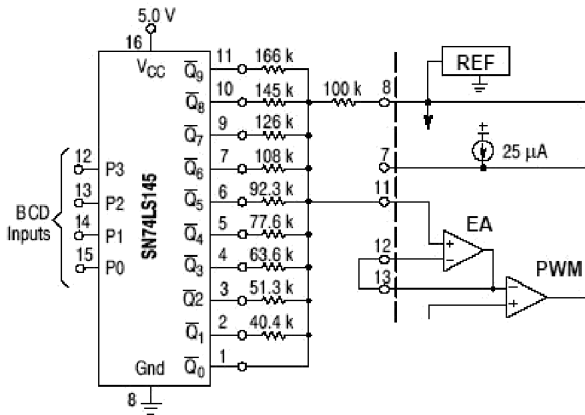


图 33. 数字式速度控制

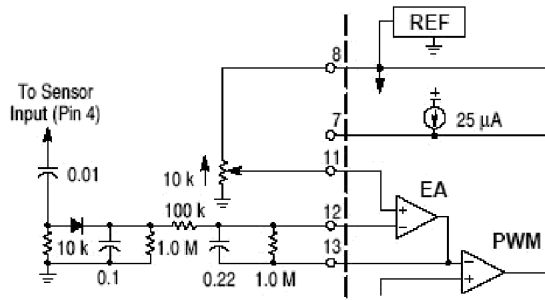


图 34. 闭环速度控制

见图 33，BCD 解码器 SN74LS145 有十个集电极开路输出端口。输入代码在 0000 至 1001 区间内，脉宽调制 PWM 的导通时间变化范围为 0%~90%，导通时间的增加大约为 10%步距，输入代码在 1010 至 1111 区间内，将产生 100%的导通时间或电机全速运行。

见图 34，转子位置传感器可以用来作为一个转速表。随着时间的推移，通过累计正信号，将可以产生正比于速度的电压。误差放大器参照这个速度电压，设定脉宽调制 PWM 的控制输出。

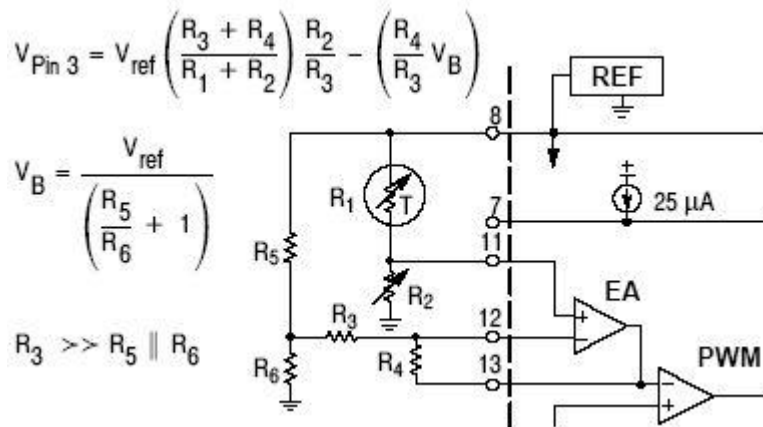


图 35. 闭环温度控制

见图 35，当传感器与温度设定有差异时，该电路可以按占空比控制冷却风扇转速。强制空气冷却 NTC 热敏电阻后，控制回路关闭。在加热控制应用时，交换 R1 和 R2 的位置。

**系统应用**

**开环三相电机应用**

图 36 所示的三相应用是一个全功能的全波、六步、开环电机控制驱动器。电源开关，上部是达林顿晶体管，而下部是功率 MOSFET 晶体管。这些晶体管中的每一个都包含有内部的续流二极管，用于定子的寄生电感能量返回到电源。输出能够驱动三角形或星形连接的定子，和使用分离电源的中性点接地星形。在任何给定的转子位置，只能使用一个上部和一个下部的电源开关（不同的图腾柱）。



这种配置转换可以实现定子绕组两端电流从电源到地的双向或全波流动。电流波形通常存在前沿尖峰，这可能导致限流不稳定。通过在电流检测输入端口增加一个 RC 滤波器实现尖峰抑制。使用低电感型电阻器 RS 也有助于尖峰抑制。必须认真选择下部功率开关晶体管，使得在制动时的电流不超过该晶体管的额定值。因为在制动过程中，仅由下部导通的开关晶体管和绕组的串联电阻限制所产生的峰值电流。如果电机在无负载的最高速度运行时，所产生的反电动势可高达电源电压，并且在制动开始时，峰值电流可达电机失速电流的两倍。图 37 显示了两个周期电变换波形。第一周期(0° 至 360° )显示电机在全速运行，而第二周期(360° 至 720° )显示约 50%脉宽调制的电机慢速运行。电流波形清晰地显示了恒转矩负载和换向频率的同步关系。(EMF 电动势)

$$I_{peak} = \frac{V_M + EMF}{R_{switch} + R_{winding}}$$

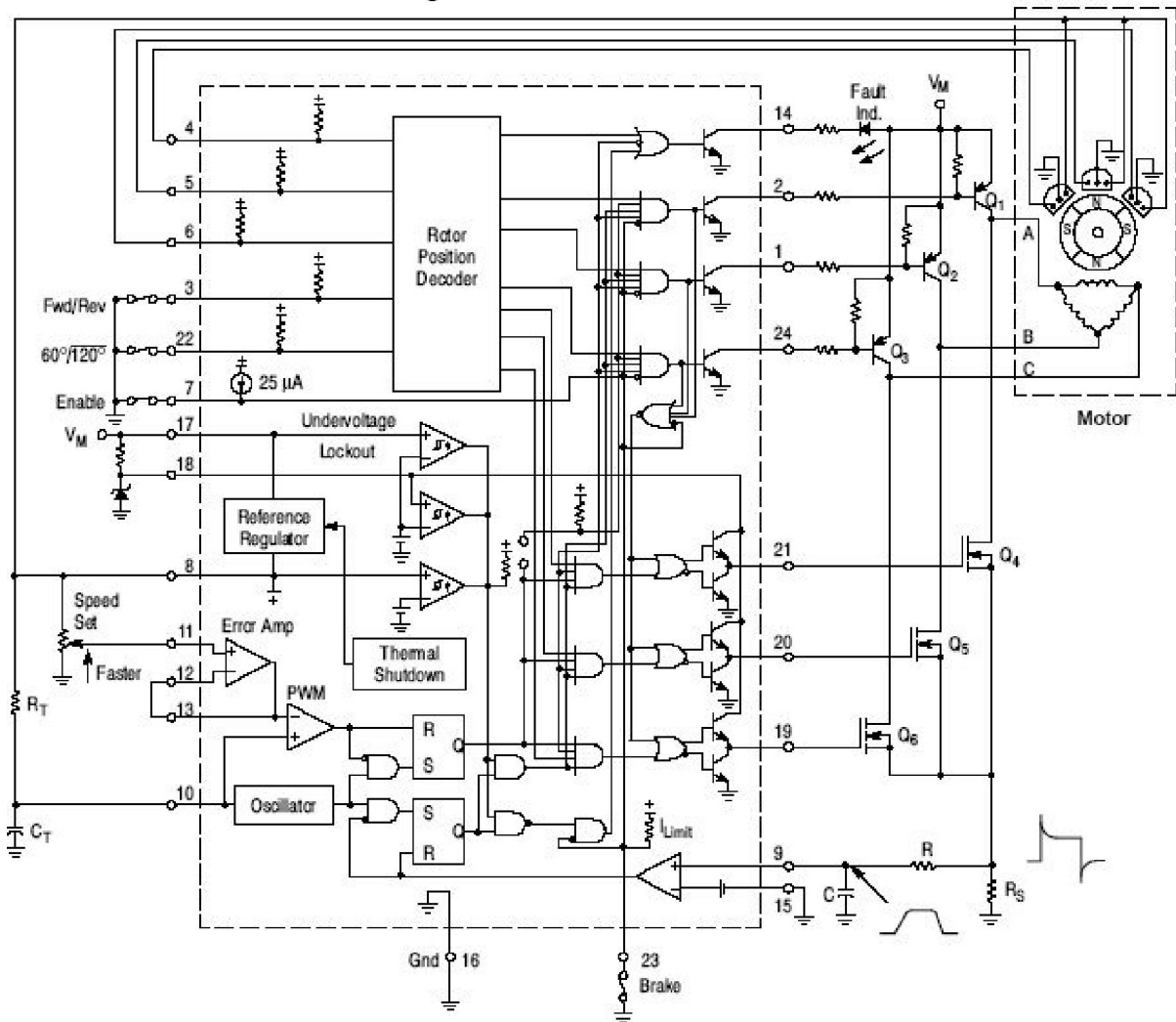


图 36. 三相、六步、全波电机控制电

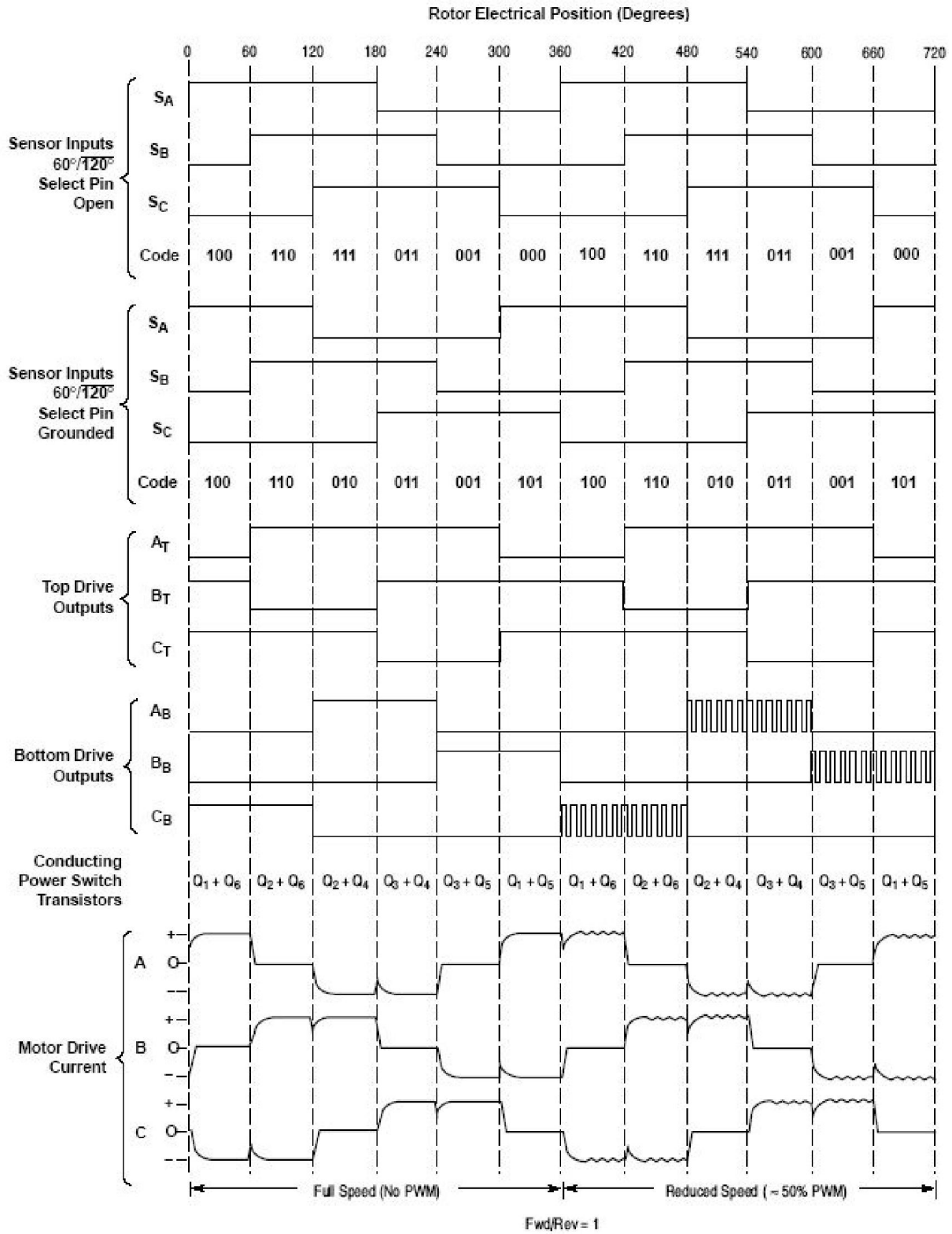


图 37. 三相、六步、全波换向波形



图 38 显示三相、三步、半波电机控制器。因为每个定子绕组分别连接一个导通电流的电源开关，这种配置非常适合于汽车和其它低电压应用。因为每个绕组只有一端可开关，电流是单向或半波流动。因为定子电流仅由线圈电阻限制，连续制动的电机在典型半波装置中就会出现过热问题。这是由于缺少上部电源开关晶体管，如果在全波电路中可以使绕组与电源电压断开  $V_M$ 。一个独特的解决方案是提供制动，直到电机停转，然后关闭下部驱动器。这可以通过把故障输出端口与输出始能端口进行某种连接，作为过电流定时器来实现。通过选择元件 RDLY 和 CDLY，在输出始能锁存和上部驱动或门转低之前，给电机保留足够的停止时间。当电机运行时，制动开关闭闭，通过 PNP 晶体管（连接电阻器  $R_1$  和 RDLY）为 CDLY 放电并重置闭锁。用一个齐纳二极管和三个二极管钳位定子反向电压。

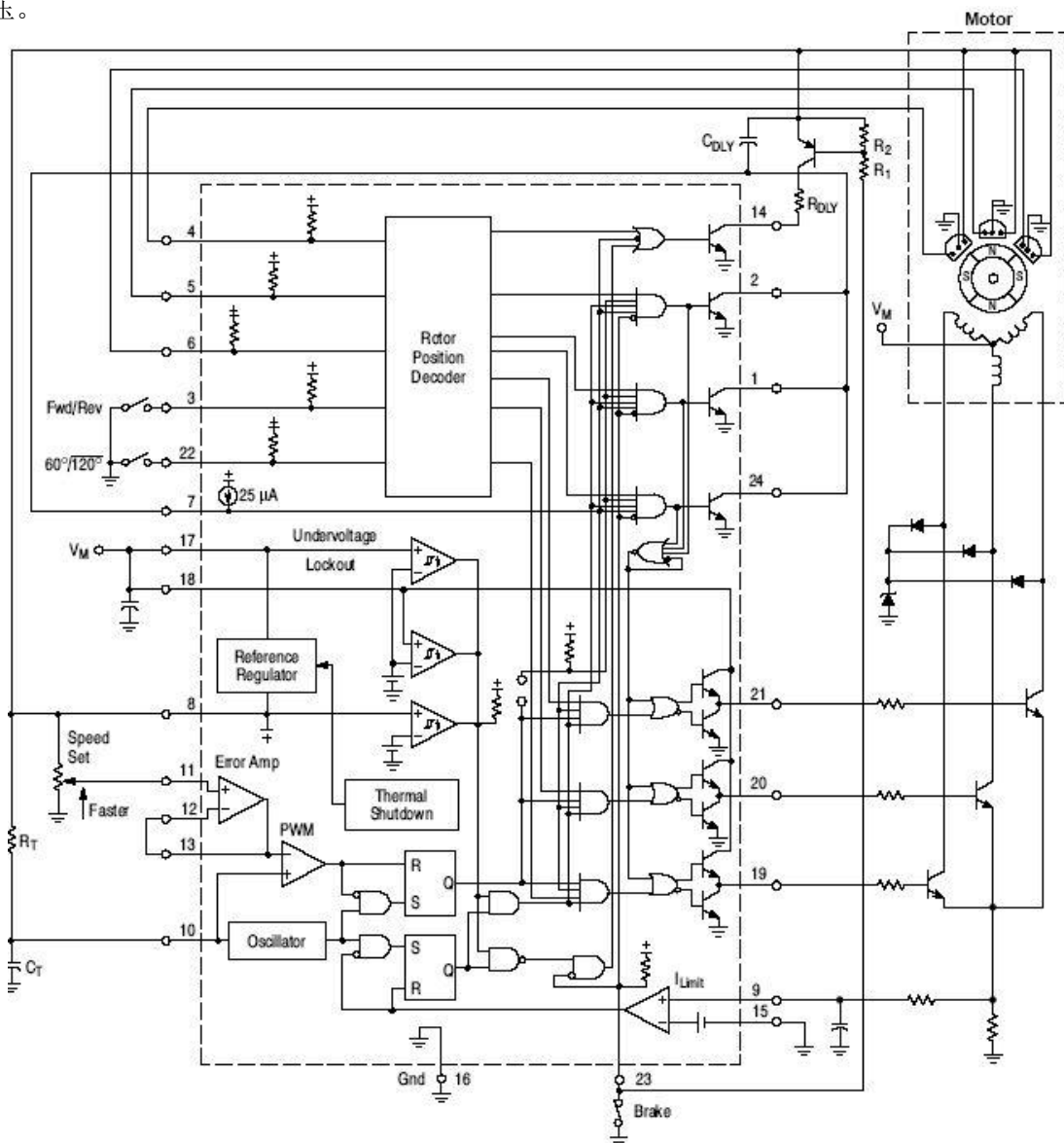


图 38. 三相、三步、半波电机控制器



### 闭环三相电机应用

LD33035 自身只有开环电机速度控制能力。在闭环电动机速度控制时，需要一个正比于电机转速的输入电压。通常是用转速表来生成电机速度反馈电压。见图 39，用 LD33035 管脚 8 的 6.25V 为 MC33039 提供基准电压，用于生成所需的反馈电压，而不用昂贵的转速表。LD33035 用于转子位置解码的霍尔传感器信号同步提供给 MC33039。对于每个霍尔传感器信号的正或负向跳变，MC33039 都会生成可预设幅度和脉宽的输出脉冲，由外部电阻 R1 和电容 C1 设定。MC33039 管脚 5 的输出脉冲序列，在 LD33035 的误差放大器上累积成正比于电机速度的直流电压。这个建立在 LD33035 管脚 13 正比于速度的 PWM 参考电压，用于电机控制器和关闭反馈回路。LD33035 输出驱动一个 TMOS 型的 MOSFET 三相功率电桥，但必须预先考虑启动、制动、电机方向变换时的高电流情况。在图 39 中所示的系统设计用于 120°/240° 电相位霍尔传感器的电机。通过拔出 LD33035 的 22 管脚跳线 (J2)，该系统可以很容易地用于 60°/300° 电相位霍尔传感器的电机。

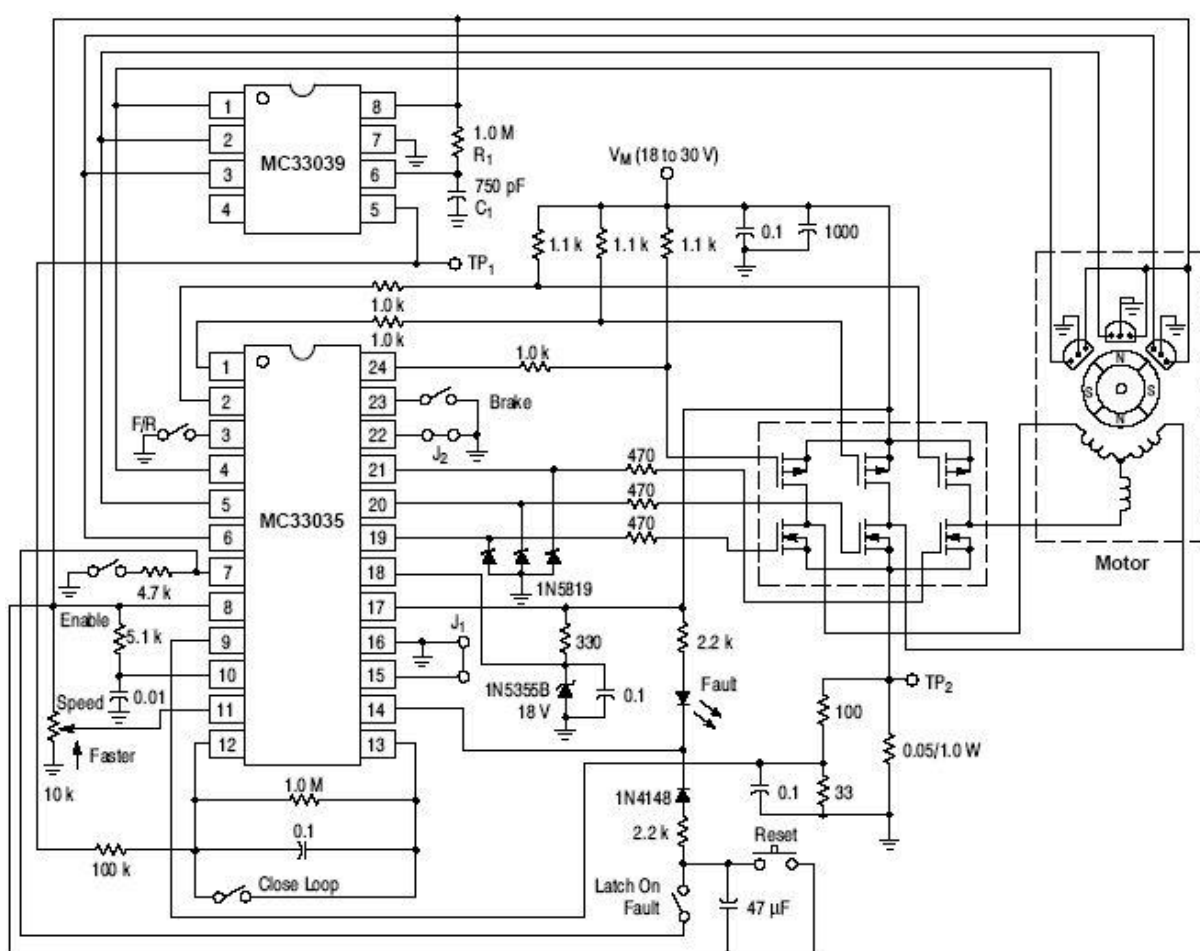


图 39. 使用 MC33039 的闭环无刷直流电机控制



二或四相电机应用

也有建立在三相电机传感器信号上的四相应用。六步驱动是每隔 60° 产生电跳变输入信号，相对信号相位取决于机械传感器放置位置。图 40 所示标准电角度的比较。请注意图 41 的传感器相位表，60° 相位顺序的输入代码与 300° 相反。这意味着 LD33035 设置为 60° 传感器电相位时，控制电机用于 60° 或 300° 传感器电相位调相，可以造成电机的反向旋转。同样，设置为 120° 传感器电相位时，控制电机用于 120° 或 240° 传感器电相位调相，可以造成电机的反向旋转。本数据表中，用转子磁极数的函数运算将转子机械位置显示为电角度。

电角度和机械位置之间的关系是：电角度=机械角度（转子极数/2）

机械旋转磁极数的增加会产生更多的电信号。三相电机通常有一个四磁极转子，机械结构转动产生两个电信号。LD33035 也能够用于四步输出的两或四相电机驱动。图 42 中的真值表显示，把传感器输入 SB 和 SC 连接在一起后，在从六相变为四相时，用于减少驱动输出的数量状态。输出功率开关连接到 BT、CT、BB 和 CB。图 43 显示是一个四相、四步、全波电机控制应用。开关晶体管 Q1 至 Q8 是内部有续流二极管的功率达林顿管。四步驱动只需要两个间隔 90° 的转子位置传感器。图 44 是换相波形图。图 45 是一个四相、四步、半波电机控制器。除了没有速度控制和制动，其它功能与图 38 中的电路相同。

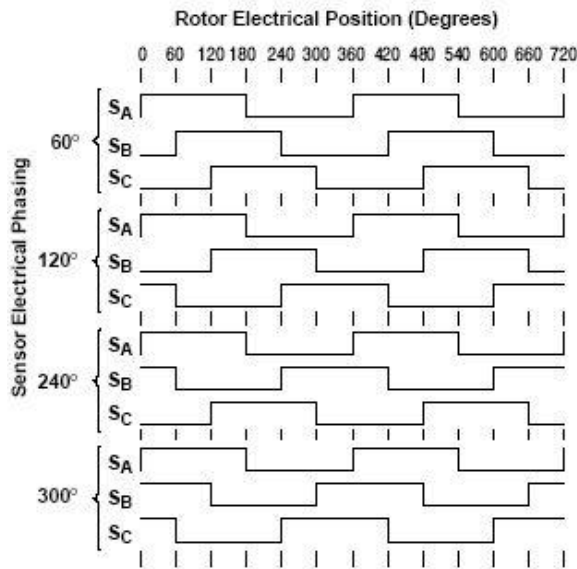


图 40. 传感器相位比较

Sensor Electrical Phasing (Degrees)											
60°			120°			240°			300°		
S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>
1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1
1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1

图 41. 传感器相位表

MC33035 (60°/120° Select Pin Open)						
Inputs			Outputs			
Sensor Electrical Spacing* = 90°			Top Drives		Bottom Drives	
S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	F/R	B <sub>T</sub>	C <sub>T</sub>	B <sub>B</sub>	C <sub>B</sub>
1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	0
1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	1
0	0	0	0	1	0	0

\*With MC33035 sensor input S<sub>B</sub> connected to S<sub>C</sub>.

图 42. 二和四相、四步转换真值表

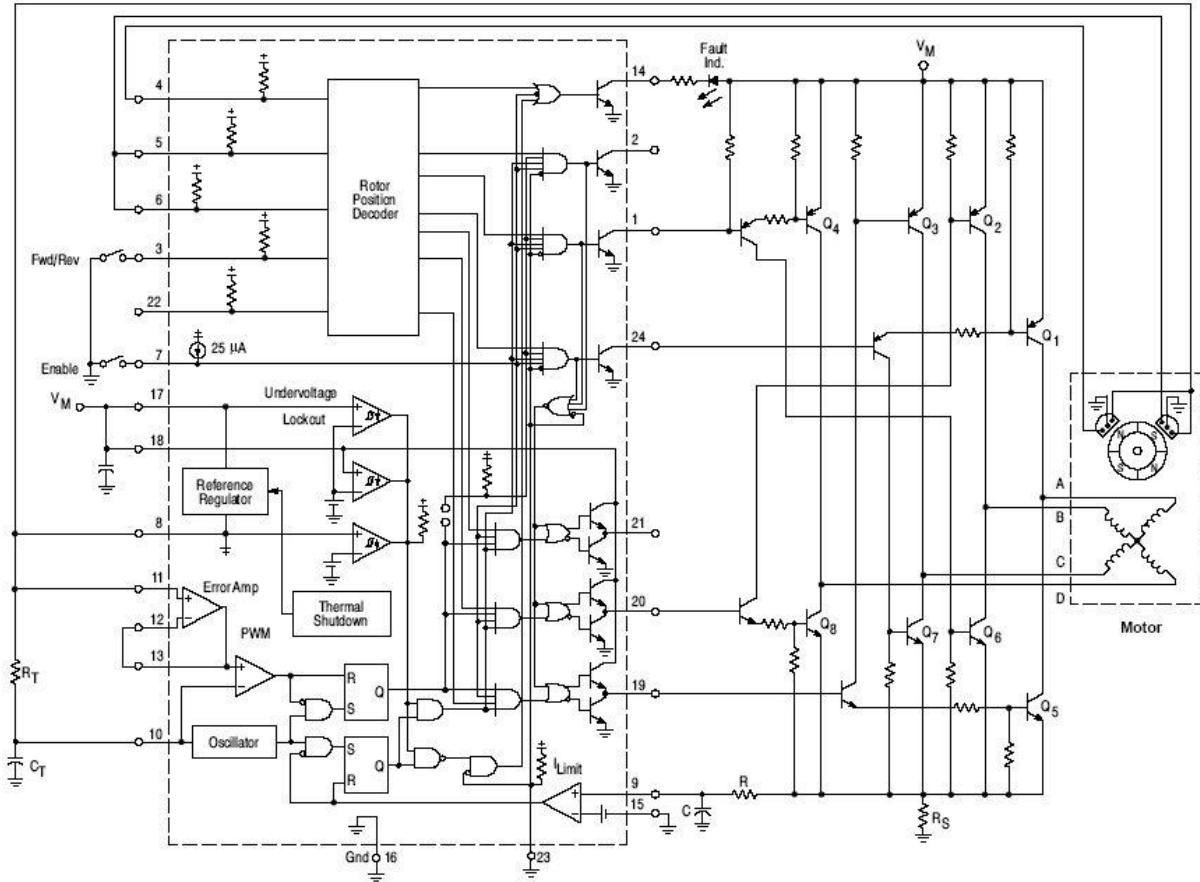


图 43. 四相、四步、全波电机控制



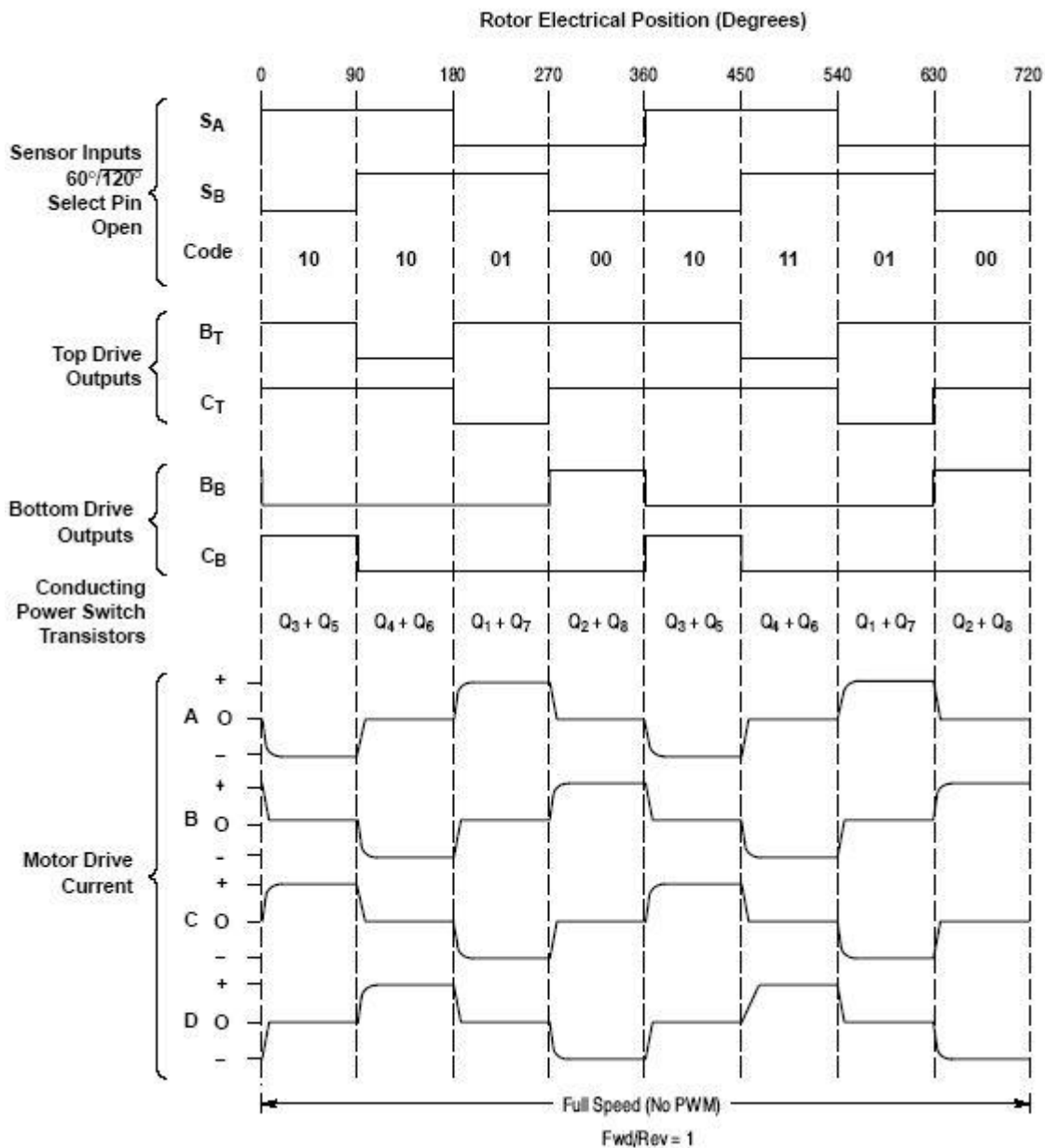


图 44. 四相、四步、全波电机控制波形图

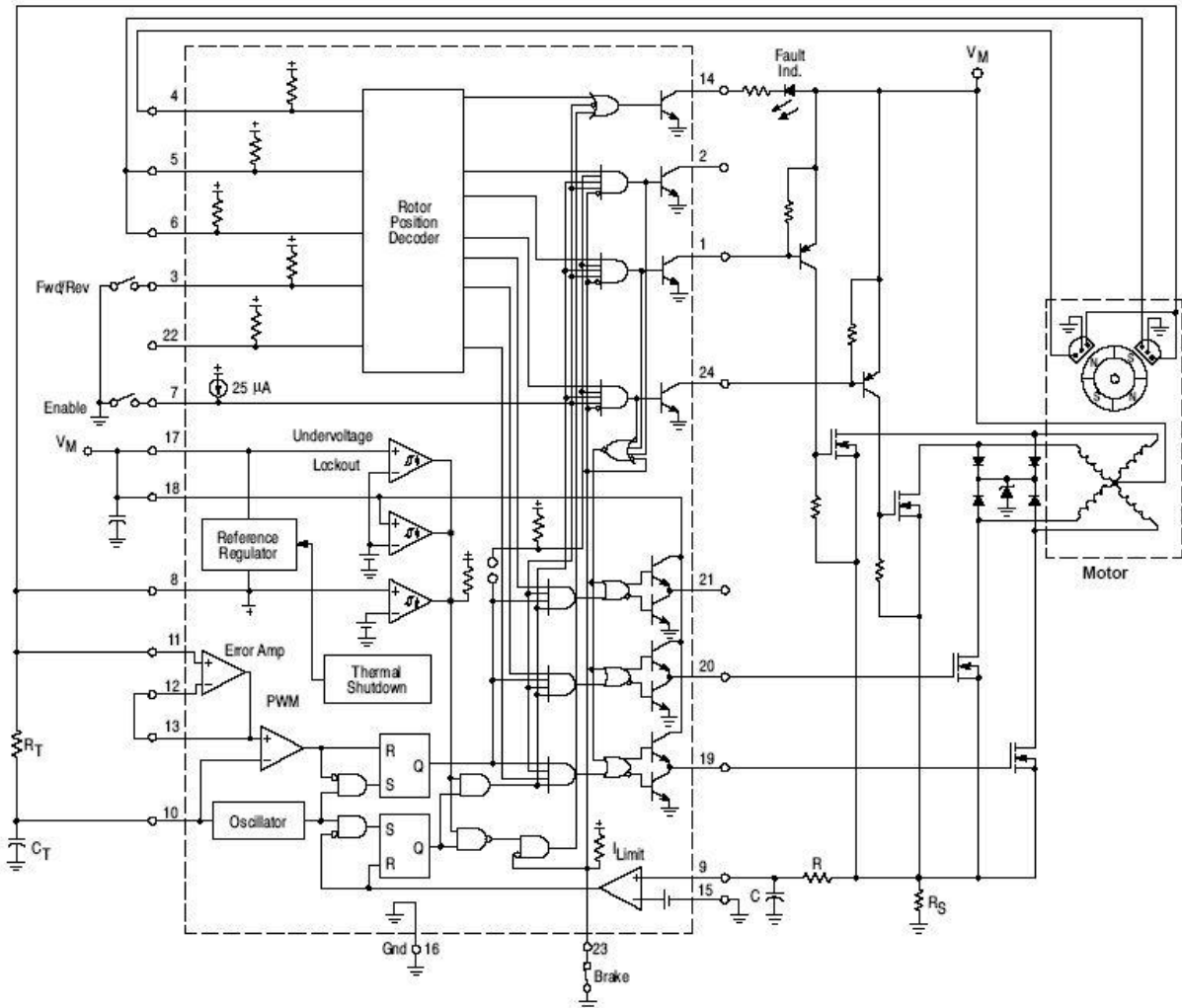


图 45. 四相、四步、半波电机控制



## 有刷电机应用

虽然 LD33035 设计用于控制无刷直流电动机，但也可用于控制有刷直流电机。图 46 显示的是用最少数元件组成的 H 桥 MOSFET 有刷电机驱动电路。操作的关键是输入传感器代码 [100]：当控制器的正向/反向管脚为逻辑 [1] 时，上-左 (Q1) 和下-右 (Q3) 导通；正向/反向管脚为逻辑 [0] 时，上-右 (Q4) 和下-左 (Q2) 导通。此代码是 H-桥实现方向和速度驱动控制的必要条件。

常用的控制方式是用频率约为 25KHz 的脉宽调制器。电机的转速控制，是通过调整误差放大器的同相输入端电压，建立 PWM 的占空比或参考水平。电流经由 H 桥-电机-RS-地，逐周期的电机电流限制，是通过检测相对于内部 100mV 的 RS 电阻电压来完成。在飞车和电机不能完全停止时，过流检测电路用正向/反向开关可以反转电机方向。

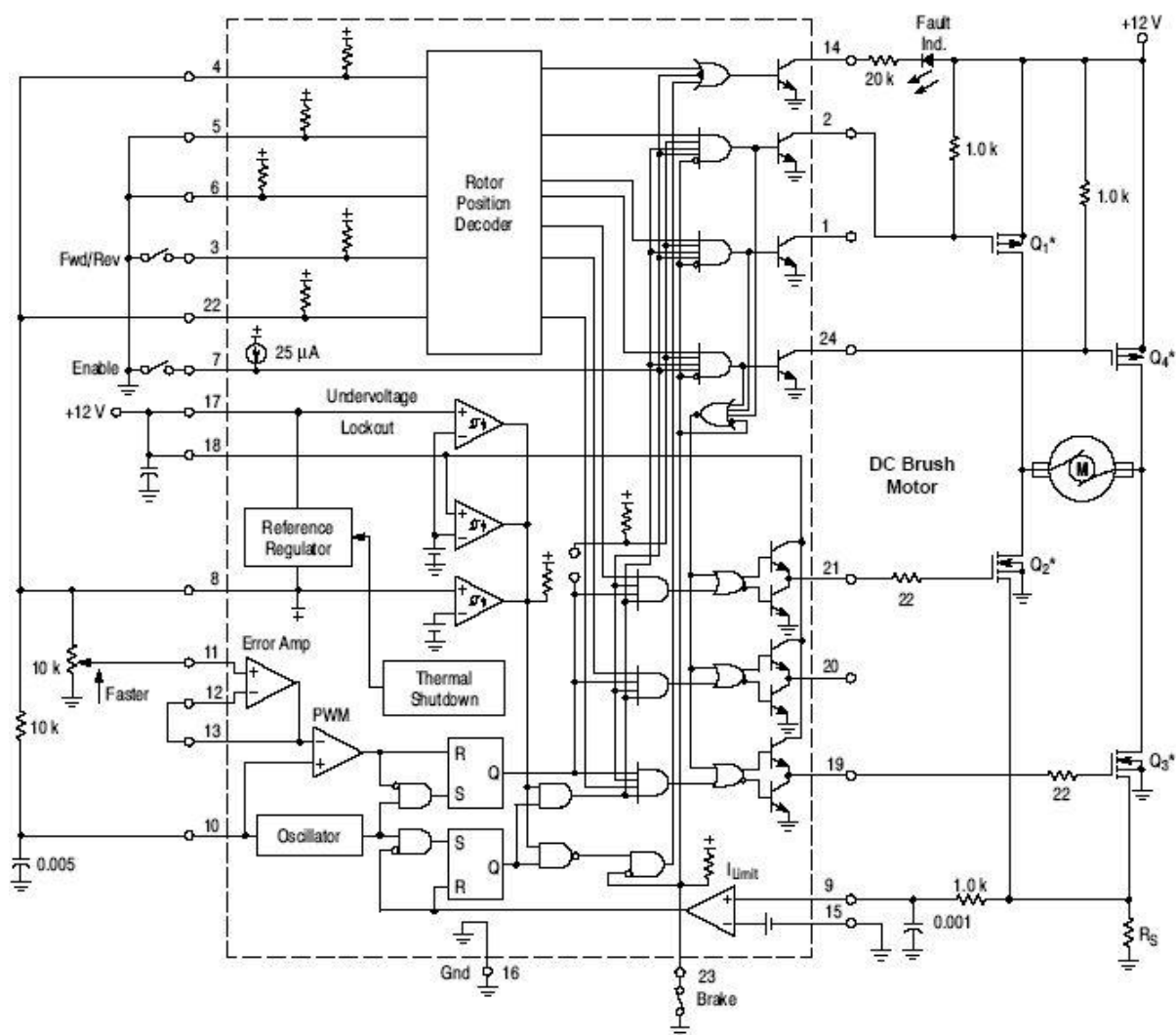


图 46. 典型的 H 桥有刷电机控制器



QJ/DHA 01.37-2015

LD33035

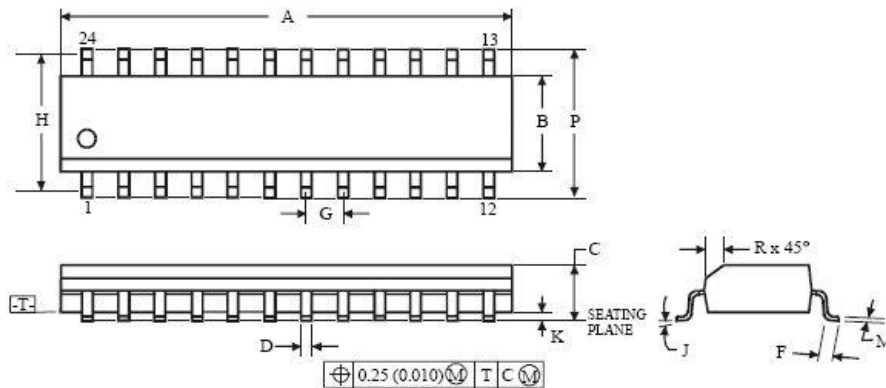
## 线路板布局设计

不要试图在绕线和插头上建立无刷电机控制电路板。高频印刷电路布局要有防脉冲抖动设计。抖动通常是由电流检测和误差放大器输入端的尖峰产生的。印刷电路布局应该包含，低电流信号的接地平面，和另外返回到电源 VM 输入滤波电容的高驱动和输出缓冲的接地路径。根据电路设计要求，陶瓷旁路电容（0.1 $\mu$ F）要靠近连接集成电路的 VCC、VC、VREF 和误差放大器同相输入端。这为任何高频噪声提供低阻抗路径的滤波。所有大电流回路应尽可能设计为较短的纯铜线路来减少电磁干扰 EMI。

## 封装信息

### SOP24L

单位：mm



Symbol	Dimension, mm	
	MIN	MAX
A	15.2	15.6
B	7.4	7.6
C	2.35	2.65
D	0.33	0.51
F	0.4	1.27
G	1.27	
H	9.53	
J	0°	8°
K	0.1	0.3
M	0.23	0.32
P	10	10.65
R	0.25	0.75

### NOTES:

- Dimensions A and B do not include mold flash or protrusion.
- Maximum mold flash or protrusion 0.15 mm (0.006) per side for A; for B - 0.25 mm (0.010) per side.