



无刷直流马达控制电路

1. 概述与特点

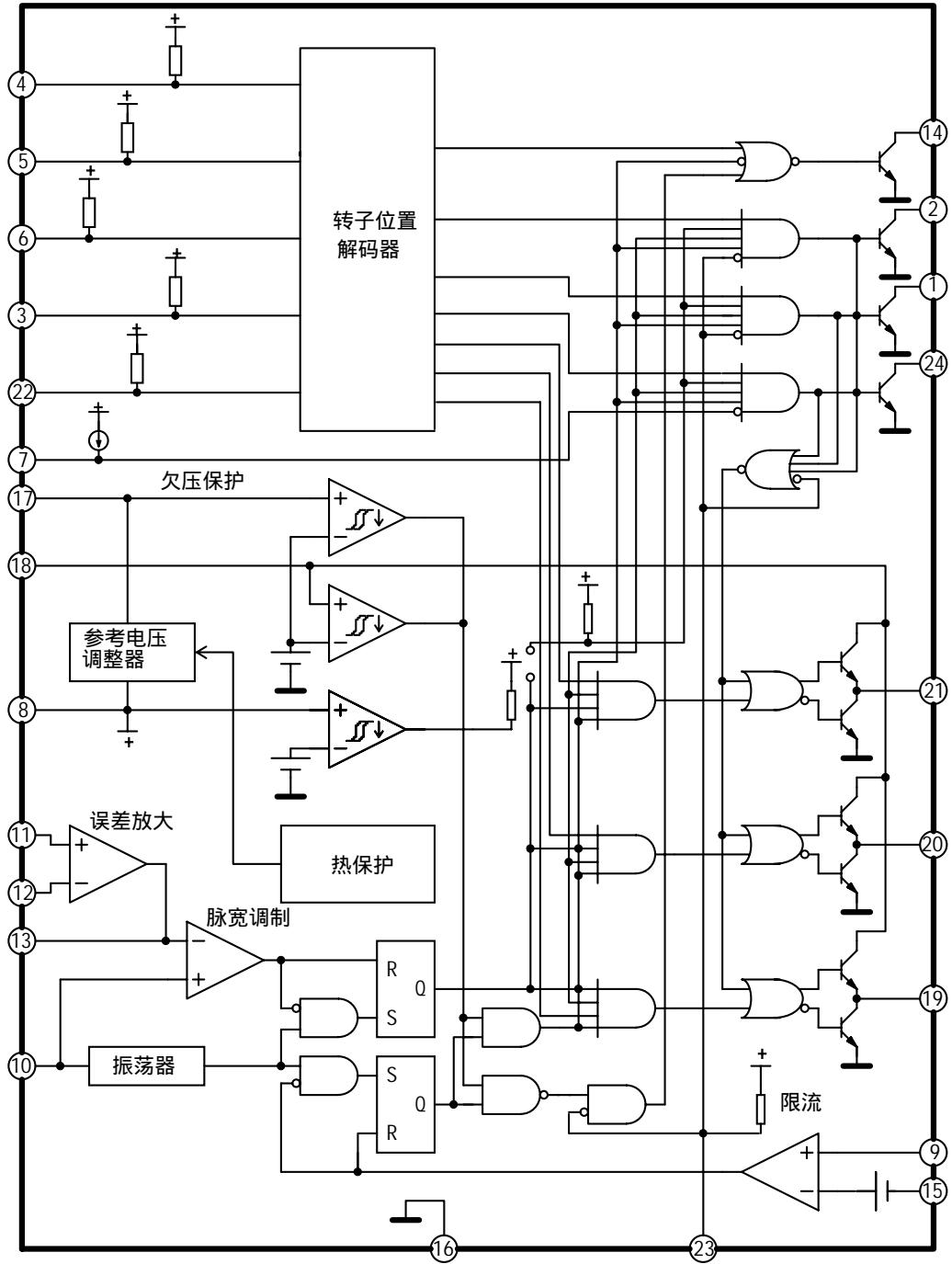
MC33035CP/CB 是一块高性能单片集成无刷直流马达控制电路。其内部包括转子位置解码器、温度补偿电路、频率可调的锯齿波振荡器、三个集电极开路上驱动器、三个推拉式大电流下驱动器用于驱动功率 MOS 场效应管、还有欠压保护、热保护、限流电路和失效输出端。典型的马达控制功能包括开环速度控制、正转或反转、运行使能和动态减速等功能。MC33035CP/CB 能控制具有 $60^\circ/300^\circ$ 或 $120^\circ/240^\circ$ 电相位的马达，也能控制带电刷的直流马达。

其特点如下：

- 工作电压：10V 到 30V
- 具有欠压保护功能
- 6.25V 的参考电压能给传感器供电
- 应用于闭环伺服系统的误差放大器
- 用于控制外部 MOS 管的大电流驱动器
- 具有限流电路
- 具有电流敏感参考引出端
- 具有热保护功能
- 可选择 $60^\circ/300^\circ$ 或 $120^\circ/240^\circ$ 传感器相位
- 能用于控制电刷式直流马达
- 封装形式：DIP24/ SOP24

2. 功能框图与引脚说明

2.1 功能框图



2.2 引脚说明

引脚	符号	功能	引脚	符号	功能
1	B _T	上驱动输出	13	OUT _{ERO} IN _{PWM}	误差放大输出 脉宽调制输入
2	A _T	上驱动输出	14	OUT _{fault}	失效输出端
3	F/R	正转或反转	15	IN _{IS-}	电流传感器负输入
4	S _A	传感器输入	16	GND	地
5	S _B	传感器输入	17	V _{CC}	电源
6	S _C	传感器输入	18	V _{CC}	电源
7	Enable	输出使能	19	C _B	下驱动输出
8	REF _{OUT}	参考电压输出	20	B _B	下驱动输出
9	IN _{IS+}	电流传感器正输入	21	A _B	下驱动输出
10	OSC	振荡器	22	Select	60° /120° 选择
11	IN _{ERO+}	误差放大器正输入	23	Brake	制动
12	IN _{ERO-}	误差放大器负输入	24	C _T	上驱动输出

3. 电特性

3.1 极限参数

除非另有规定, T_{amb}= 25°C

参数名称	符号	条件	额定值	单位
电源电压	V _{CC}		40	V
数字输入端电压		3、4、5、6、22、23脚	V _{ref}	V
振荡器输入电流	I _{OSC}	灌电流或拉电流	30	mA
误差放大器输入电压范围	V _{IR}	11、12脚	-0.3~V _{ref}	V
误差放大器输出电流	I _{OUT}	灌电流或拉电流	10	mA
电流传感器输入电压范围	V _{sense}	9、15脚	-0.3~5.0	V
失效输出电压	V _{CE(Fault)}		20	V
失效输出拉电流	I _{Sink(Fault)}		50	mA
上驱动电压	V _{CE(top)}	1、2、24脚	40	V
上驱动拉电流	I _{Sin(top)}	1、2、24脚	50	mA
下驱动电源电压	V _C	18脚	30	V

接下表

续上表

参数名称	符号	条件	额定值	单位
下驱动输出电流	I_{DRV}	灌电流或拉电流; 19、20、21脚	100	mA
功耗	P_D		867	mW
工作环境温度	T_{amb}		-40~85	°C
结温	T_j		150	°C
贮存温度	T_{stg}		-65~150	°C

3.2 电特性

除非另有规定, $T_{amb}=25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC}=V_C=20\text{V}$, $R_T=4.7\text{K}$, $C_T=10\text{nF}$

参数名称	符号	测试条件	规范值			单位
			最小	典型	最大	
参考电压单元						
参考输出电压	V_{ref}	$I_{ref}=1.0\text{mA}$	5.9	6.24	6.5	V
电压调整	Reg_{line}	$V_{CC}=10\sim 30\text{V}$, $I_{ref}=1.0\text{mA}$		1.5	30	mV
负载调整	Reg_{load}	$I_{ref}=1.0\sim 20\text{mA}$		16	30	mV
输出短路电流	I_{CS}		40	75		mA
参考欠压保护门限	V_{th}		4.0	4.5	5.0	V
误差放大器						
输入失调电压	V_{IO}	$T_{amb}=-40\sim 85^{\circ}\text{C}$		0.4	10	mV
输入失调电流	I_{IO}	$T_{amb}=-40\sim 85^{\circ}\text{C}$		8.0	500	nA
输入偏置电流	I_{IB}	$T_{amb}=-40\sim 85^{\circ}\text{C}$		-46	-1000	nA
输入共模电压范围	V_{ICR}		0		V_{ref}	V
开环电压增益	A_{VO}	$V_O=3.0\text{V}$, $R_L=15\text{K}$	70	80		dB
输入共模抑制比	CMRR		55	86		dB
纹波抑制比	SVR	$V_{CC}=V_C=10\sim 30\text{V}$	65	105		dB
输出电压摆幅						
高态		$R_L=15\text{K}$ 到地	4.6	5.3		V
低态		$R_L=15\text{K}$ 到 V_{ref}		0.5	1.0	

接下表

续上表

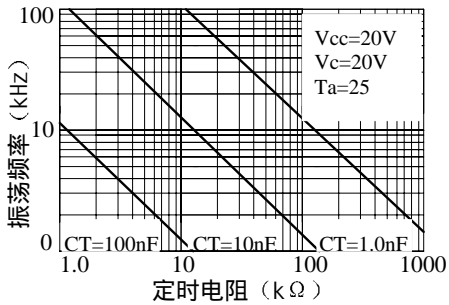
参数名称	符号	测试条件	规范值			单位
			最小	典型	最大	
振荡器						
振荡频率	f_{OSC}		22	25	28	kHz
频率随电压的改变	$\Delta f_{OSC} / \Delta V$	$V_{CC}=10\sim 30V$		0.01	5	%
锯齿波峰电压	$V_{OSC(P)}$			4.1	4.5	V
锯齿波谷电压	$V_{OSC(V)}$		1.2	1.5		V
逻辑输入						
输入门限电压 高态 低态	V_{IH} V_{IL}	测 3、4、5、6、7、22、 23 脚	3.0		0.8	V
传感器输入电流 高态 低态	I_{IH} I_{IL}	测 4、5、6 脚 $V_{IH}=5.0V$ $V_{IL}=0V$	-150 -600	-70 -337	-20 -150	μA
F/R、Select 和 Brake 端输入电 流 高态 低态	I_{IH} I_{IL}	测 3、22、23 脚 $V_{IH}=5.0V$ $V_{IL}=0V$	-75 -300	-36 -175	-10 -75	μA
输出使能端输 入电流 高态 低态	I_{IH} I_{IL}	测 7 脚 $V_{IH}=5.0V$ $V_{IL}=0V$	-60 -60	-29 -29	-10 -10	μA
限流比较器						
门限电压	V_{th}		85	101	115	mV
输入共模电压 范围	V_{ICR}			3.0		V
输入偏置电流	I_{IB}			-0.9	-5.0	μA
输出和功率部分						
上驱动输出管 饱和压降	$V_{CE(sat)}$	$I_{sink}=25mA$		0.5	1.5	V
上驱动输出管 漏电流	$I_{DRV(leak)}$	$V_{CE}=30V$		0.06	100	μA

接下表

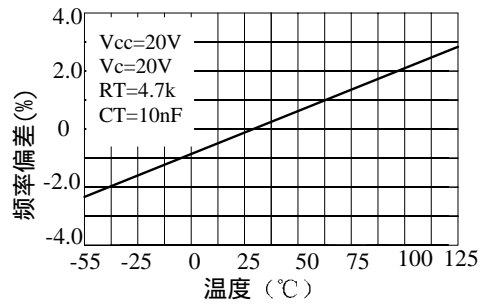
续上表

参数名称	符号	测试条件	规范值			单位
			最小	典型	最大	
上驱动输出管 开关时间 上升 下降	t_r t_f	$C_L=47\text{pF}$, $R_L=1.0\text{k}$		107 26	300 300	ns
失效输出饱和 压降	$V_{CE(sat)}$	$I_{sink}=16\text{mA}$		225	500	mV
下驱动输出管 电压 高态 低态	V_{OH} V_{OL}	$V_{CC}=20\text{V}$, $V_C=30\text{V}$ $I_{source}=50\text{mA}$ $I_{sink}=50\text{mA}$	18	18.9 1.5		V
上驱动输出管 开关时间 上升 下降	t_r t_f	$C_L=1000\text{pF}$		38 30	200 200	ns
欠压保护 驱动输出使能 滞后	$V_{th(on)}$ V_H	V_{CC} 或 V_C 上升	8.2 0.1	8.9 0.2	10 0.3	V
电源电流 17 脚电流 17 脚电流 18 脚电流 18 脚电流	I_{CC} I_C	$V_{CC}=V_C=20\text{V}$ $V_{CC}=20\text{V}$, $V_C=30\text{V}$ $V_{CC}=V_C=20\text{V}$ $V_{CC}=20\text{V}$, $V_C=30\text{V}$		12 14 3.5 5.0	16 20 6.0 10	mA

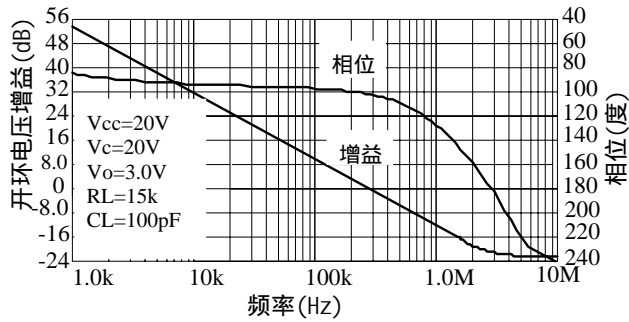
4. 特性曲线



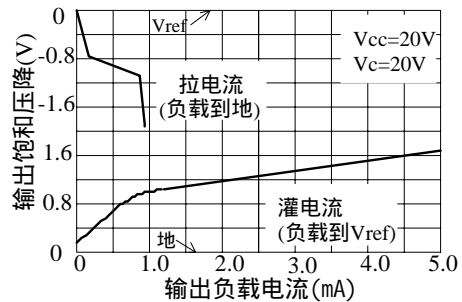
振荡频率与定时电阻



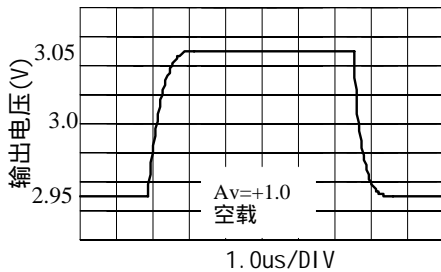
频率偏差与温度



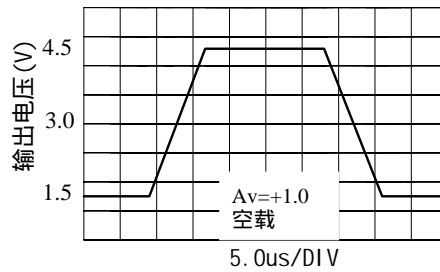
误差放大器开环电压增益与频率



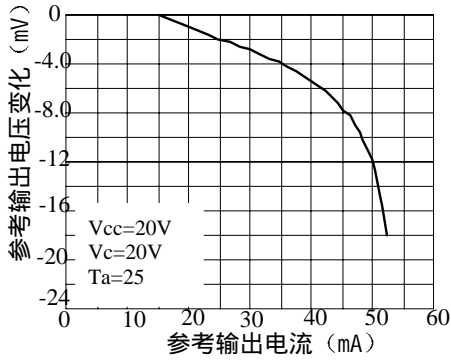
误差放大器输出饱和压降与输出负载电流



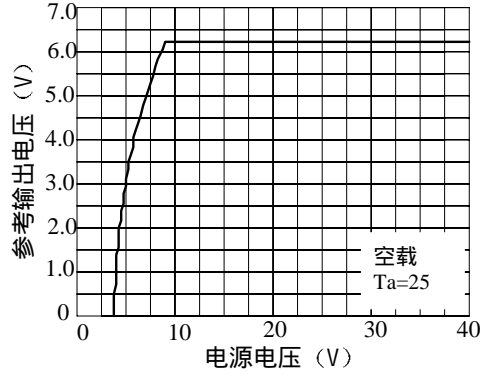
误差放大器小信号瞬态响应



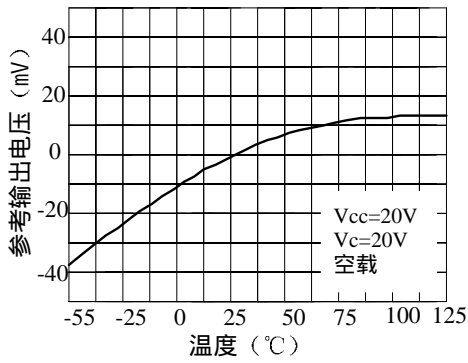
误差放大器大信号瞬态响应



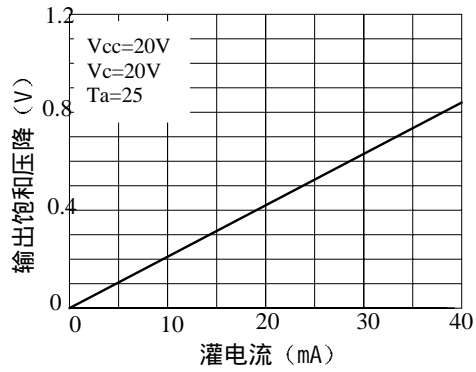
参考输出电压变化与输出电流



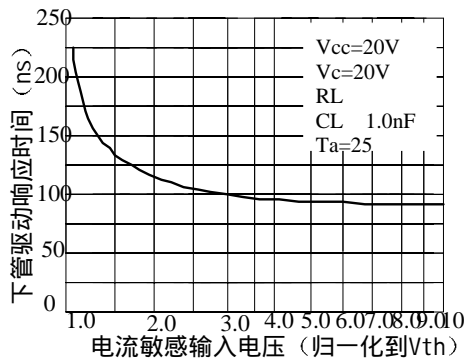
参考输出电压与电源电压



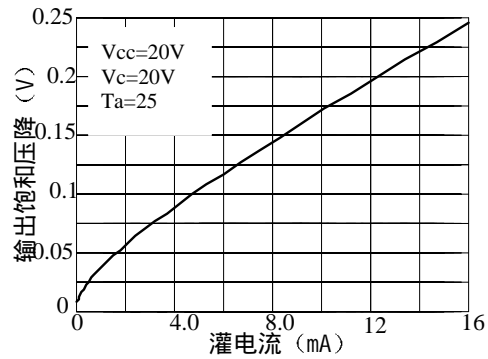
参考输出电压与温度



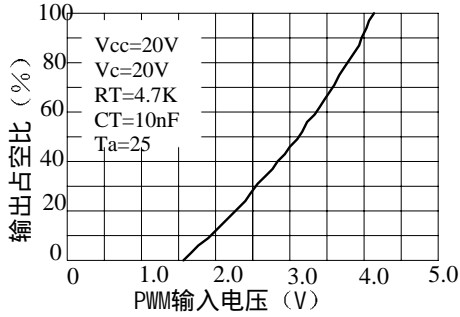
上驱动管输出端饱和压降与灌电流



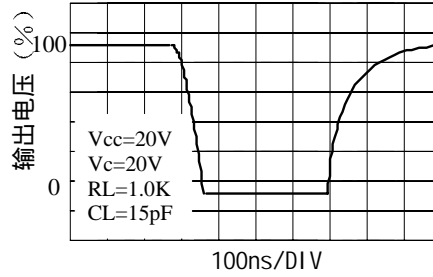
下管驱动响应时间
与电流敏感输入电压



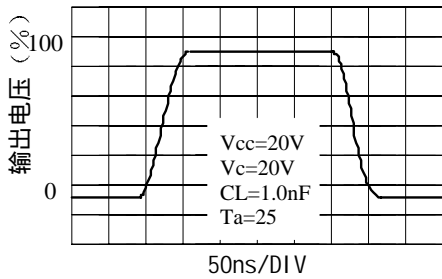
失效输出端饱和压降与灌电流



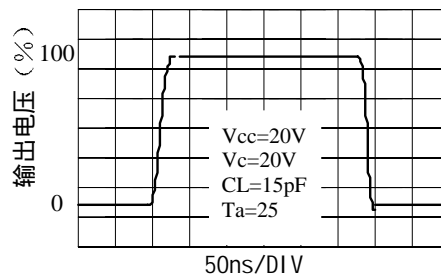
输出占空比与PWM输入电压



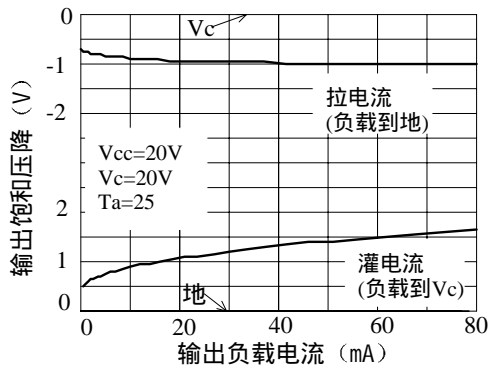
上驱动输出波形



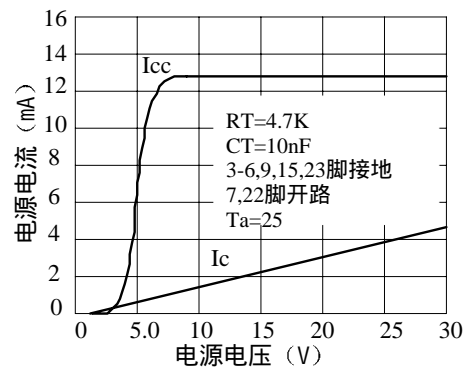
下驱动输出波形



下驱动输出波形



下驱动管输出端饱和压降与负载电流



电源电流与电源电压

5. 功能介绍

5.1 三相六步交换真值表（注1）

输入（注2）										输出（注3）					备注		
传感器电相位（注4）						F/R	Enable	Brake	IN _{IS-}	上驱动管			下驱动管			失效输出	
60°			120°							A _T	B _T	C _T	A _B	B _B			C _B
S _A	S _B	S _C	S _A	S _B	S _C												
1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	(注5)
1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	F/R=1
1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	
0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	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	1	0	1	
1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	(注5)
1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	F/R=0
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	1	0	0	1	
1	0	1	1	1	1	x	x	0	x	1	1	1	0	0	0	0	(注6)
0	1	0	0	0	0	x	x	0	x	1	1	1	0	0	0	0	Brake=0
1	0	1	1	1	1	x	x	1	x	1	1	1	1	1	1	0	(注6)
0	1	0	0	0	0	x	x	1	x	1	1	1	1	1	1	0	Brake=1
V	V	V	V	V	V	x	1	1	x	1	1	1	1	1	1	1	(注8)
V	V	V	V	V	V	x	0	1	x	1	1	1	1	1	1	0	(注9)
V	V	V	V	V	V	x	0	0	x	1	1	1	0	0	0	0	(注10)
V	V	V	V	V	V	X	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	(注11)

注: 1. V 为六种有效传感器组合的任一种, X 为无关项。

2. 数字输入（3、4、5、6、7、22、23脚）均与TTL兼容。电流敏感输入（9脚）相对于15脚有一个100mV门限电压。逻辑0为<85mV, 逻辑1为>115mV。
3. 失效输出端和上驱动管为集电极开路电路, 因此低电平有效。
4. 60°/120°选择端（22脚）为1与60°传感器电相位输入匹配, 60°/120°选择端（22脚）为0与120°传感器电相位输入匹配。
5. 有效的60°或120°传感器输入组合与上、下驱动管输出对应。
6. Brake=0时的无效传感器输入, 所有的上、下驱动管关闭, 失效输出端为0。
7. Brake=1时的无效传感器输入, 所有的上驱动管关闭, 下驱动管有输出, 失效输出端为0。
8. Brake=1时的有效传感器输入, 所有的上驱动管关闭, 下驱动管有输出, 失效输出端为1。
9. Brake=1时的有效传感器输入, Enable=0时的所有的上驱动管关闭, 下驱动管有输出, 失效输

出端为 0。

10. Brake=0 时的有效传感器输入, Enable=0 时的所有的上、下驱动管关闭, 失效输出端为 0。

11. 所有的下驱动管关闭, 失效输出端为 0。

5.2 转子位置解码器

转子位置解码器通过监控三个传感器输入端 (4, 5, 6 脚) 信号, 给上下驱动输出管提供正确信号序列。传感器输入端能直接与集电极开路的霍尔效应开关相连。内部上拉电阻可减少外围元件, 输入的门限电压为 2.2V, 且与 TTL 兼容。

60°/120° 选择端(22 脚)使 CS33035CP/CB 与马达的 60°, 120° 或 240° 或 300° 电传感器相位匹配。三个传感器输入端就有八种代码组合要能, 其中六种是有效的马达位置代码。另外两种无效代码是因传感器开路或短路引起的。根据六种输入代码, 解码器就能确定马达转子的位置。

正转/反转输入端 (3 脚) 能通过翻转定子绕组的电压来改变马达旋转的方向。输入电压由高到低, 则对于给定的传感器输入代码 (如 110), 上、下对应的输出管输出作相应的交换 ($A_T \rightarrow A_B$, $B_T \rightarrow B_B$, $C_T \rightarrow C_B$), 这样, 马达交换次序翻转, 马达旋转的方向改变。

输出使能端 (7 脚) 控制马达的开/关。7 脚与地开路时, 内部 25uA 电流源使输出管正常工作; 当 7 脚接地时, 上输出管关掉, 下管为低电位。这样, 马达滑行, 失效输出端工作。

当制动端 (23 脚) 为高电位时, 上输出管关掉, 下管工作, 使马达产生的反电动势被短路。制动端比其它输入端有无条件优先权。内部四输入或非门用来控制制动端和上输出管的输入, 使得上输出管为高电平时不制动, 防止上、下功率开关管同时导通。CS33035CP/CB 用于半波马达驱动时, 上驱动输出管是不用的, 但制动端还是起作用的。

5.3 误差放大器

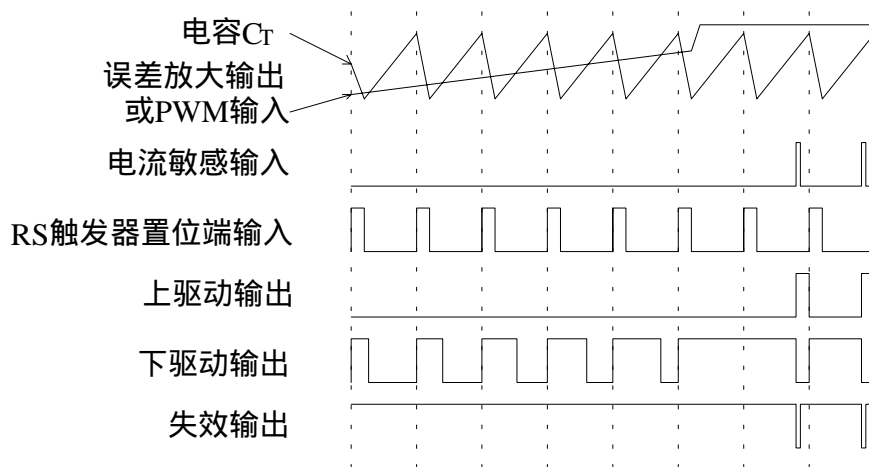
误差放大器的输入、输出 (11、12、13 脚) 均引出, 使得闭环马达速度控制更为方便。放大器直流电压增益为 80dB, 增益带宽为 0.6MHz。输入共模电压范围由地电位到 V_{ref} 。在开环速度控制应用时, 放大器被接成跟随器。

5.4 振荡器

振荡频率由定时元件 R_T 和 C_T 决定。电容 C_T 由 V_{ref} 经电阻 R_T 充电, 由内部电阻放电。振荡波峰和波谷电压为 4.1V 和 1.5V。考虑到音频噪声和输出开关效率, 推荐频率范围为 20 到 30kHz。

5.5 脉宽调制器

脉宽调制器能改变提供给每一个定子绕组的平均电压来控制马达速度。当 C_T 放电, 振荡器使两个 RS 触发器置位, 允许上、下输出管工作。当 C_T 充电时的电压比误差放大器的输出电压高时, 脉宽调制器使 RS1 触发器复位, 下输出管停止工作。脉宽调制器仅控制下输出管。



脉宽调制器时间图

5.6 限流电路

马达连续超载工作会导致过热甚至烧坏，限流电路能防止这种情况。限流电路是通过监控定子电流的每一次上升，一旦出现过流，立即关掉开关管直到振荡上升周期结束。定子电流通过电流敏感电阻 R_s 转换为电压，这个电压与内部 100mV 电压比较，如果大于 100mV，限流比较器使 RS2 触发器复位，上、下输出管停止工作。限流比较器的输入共模电压范围近似为 3V。电流敏感电阻 $R_s=0.1/I_{\text{stator(max)}}$ 。出现过流时，失效输出端也将工作，由于误差放大器和限流电路的作用，脉宽调制器能确保在一个振荡周期内上、下输出管只有一个输出导通脉冲出现。

5.7 参考电压

6.5V 的输出参考电压给振荡器电容充电，给误差放大器提供参考电压，并能输出 20mA 电流作为传感器低压应用时的电源。

5.8 欠压保护

三个一组的欠压保护单元用来防止电路和外部功率开关三极管被烧坏。在低电源电压供电时，它能让 IC 和传感器正常工作，并使下驱动管有足够的输出电压。VCC 和 VC 由两个独立的比较器监控，比较器的门限电压为 9.1V。这个电压确保驱动 MOS 管时获得小的 $R_{DS(on)}$ 。当 V_{ref} 直接为霍尔传感器供电且 V_{ref} 低于 4.5V 时，传感器工作不正常。第三个欠压比较器是用来检测这种情况的。如果三个比较器中的一个检测到欠压情况，失效端工作，上管关掉，下管处于低电位。每一个比较器均有滞后作用以防止在各自的门限电压处振荡。

5.9 失效输出

集电极开路的失效输出端（14 脚）是用于提供系统故障的信息。它有 16mA 的输出电流，能直接驱动发光二极管。并且，在微处理控制系统中，它易与 TTL/CMOS 逻辑接口。在下列情况下，失效输出端工作（低电位）：

- 1、无效传感器输入代码
- 2、输出使能在逻辑 0
- 3、限流电路输入电压大于 100mV
- 4、欠压保护电路中的一个比较器工作
- 5、热保护电路工作

这个失效输出端也可用来区别马达是刚启动还是持续超负载工作。在此失效输出端和使能输入端之间加上 RC 网络还能建延时防止过流。如果过流时间太长，电容 C 充电，导致使能输入电压越过门限电压变成低态。由于失效输出到输出使能端的正反馈，形成一个电压门。这个电压门一旦形成，只有短路电容 C 或改变电源才能重新设置。

5.10 驱动输出

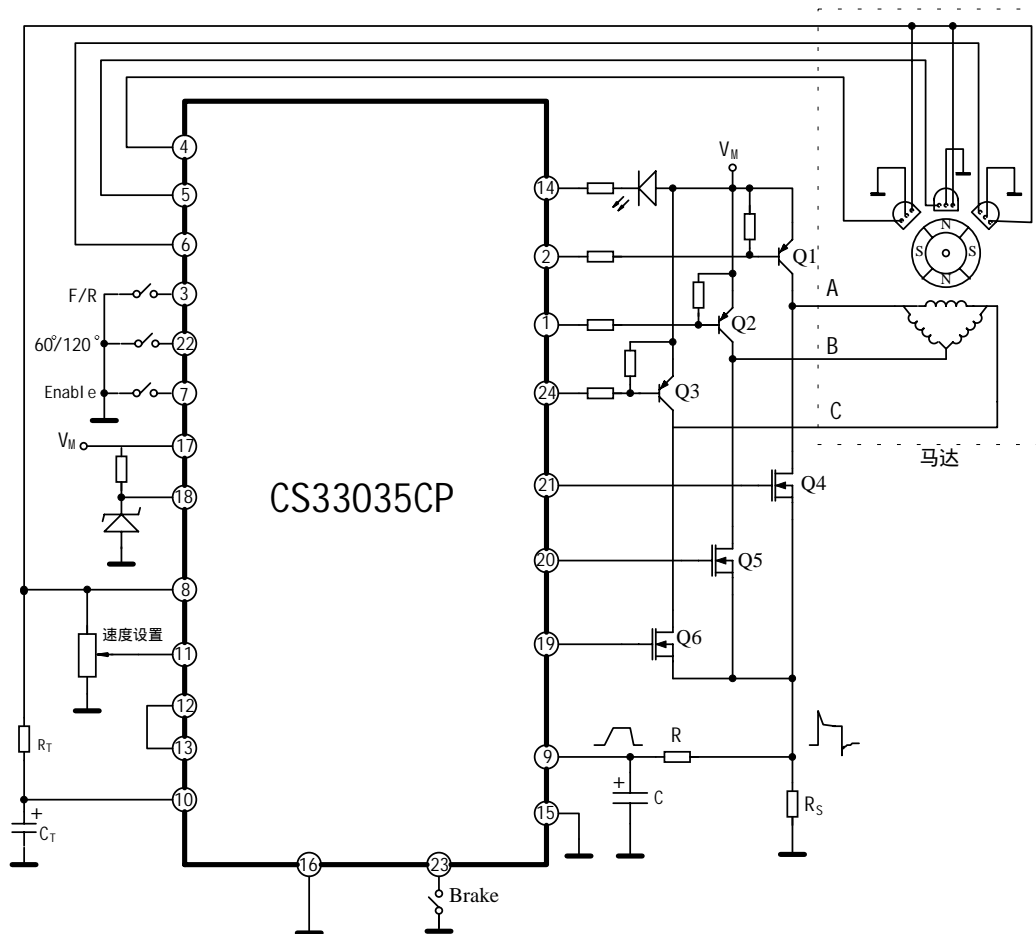
三个上驱动输出管（1、2、24 脚）是集电极开路 NPN 三极管，能拉 50mA 电流，并有 30V 的击穿电压。三个下驱动输出管（19、20、21 脚）能直接驱动 N 沟道 MOS 管或 NPN 管。每一个输出脚有 100mA 的输出电流能力。下驱动输出管电源由 V_C （18 脚）提供。控制电路地（16 脚）和限流电路反相输入端要分开接到电源地。

5.11 热保护电路

当结温超过 170°C 时，热保护电路工作，相当于输出使能端接地。

6. 线路与应用说明

6.1 应用线路



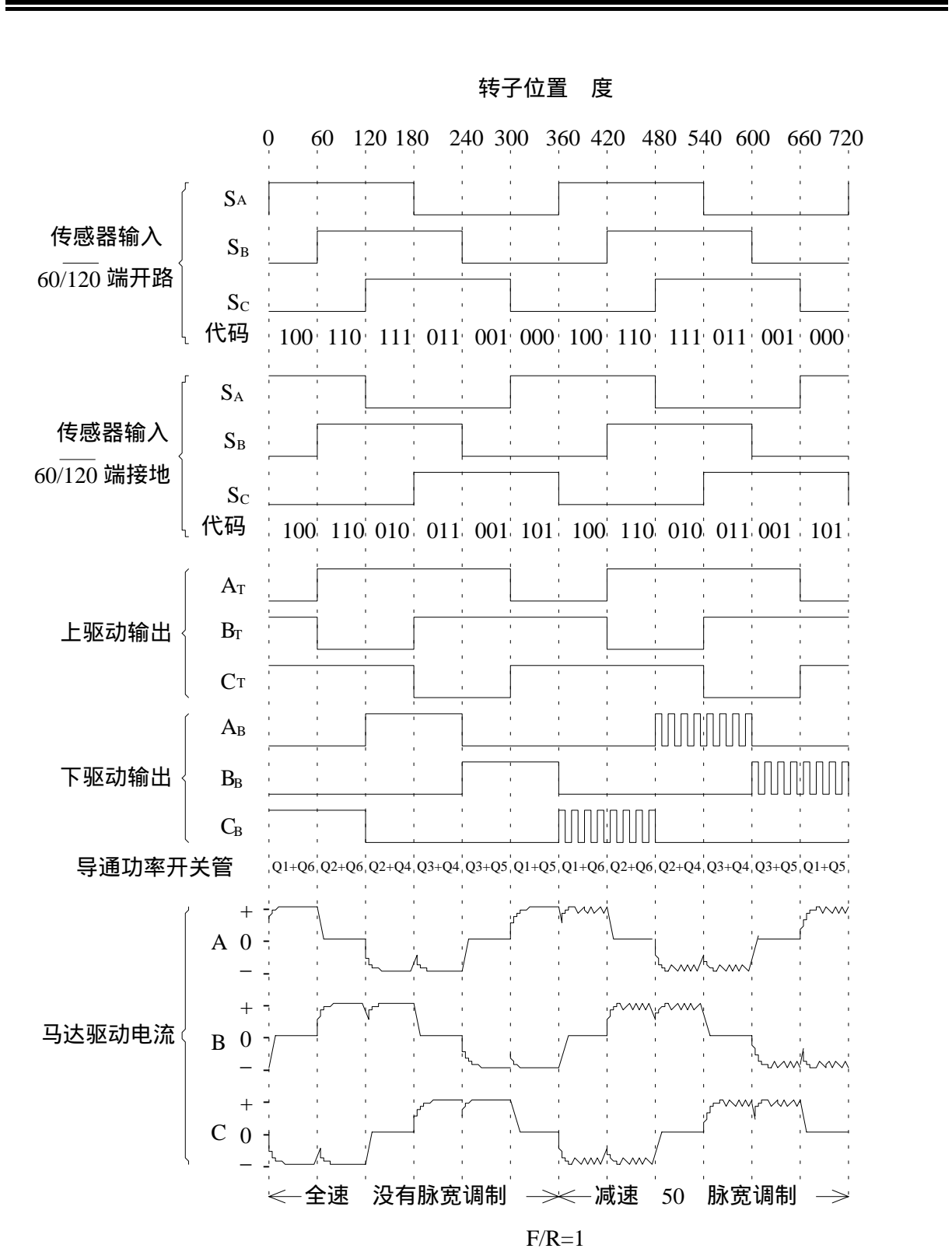
三相六步全波马达控制

6.2 应用说明

上图为三相六步全波开环马达控制的应用图，上驱动管为功率开关达林顿管，下驱动管为功率 MOS 场效应管。输出可驱动 Δ 或 Y 型连接的定子线圈。在转子的任意位置，只有一个上管和一个下管工作，流过定子线圈的电流是双向的（即全波）。电流波形边缘出现的尖峰脉冲会导致限流的不稳定。在电流敏感输入端加上一个 RC 网络可消除这种尖峰脉冲。使用低感应系数的电阻 R_s 也有利于减少尖峰脉冲。选择 MOS 场效应管(下管)时应注意：在制动期间的电流不能超过器件额定值。在制动期间，峰值电流仅由管子和线圈的传导电阻决定。

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

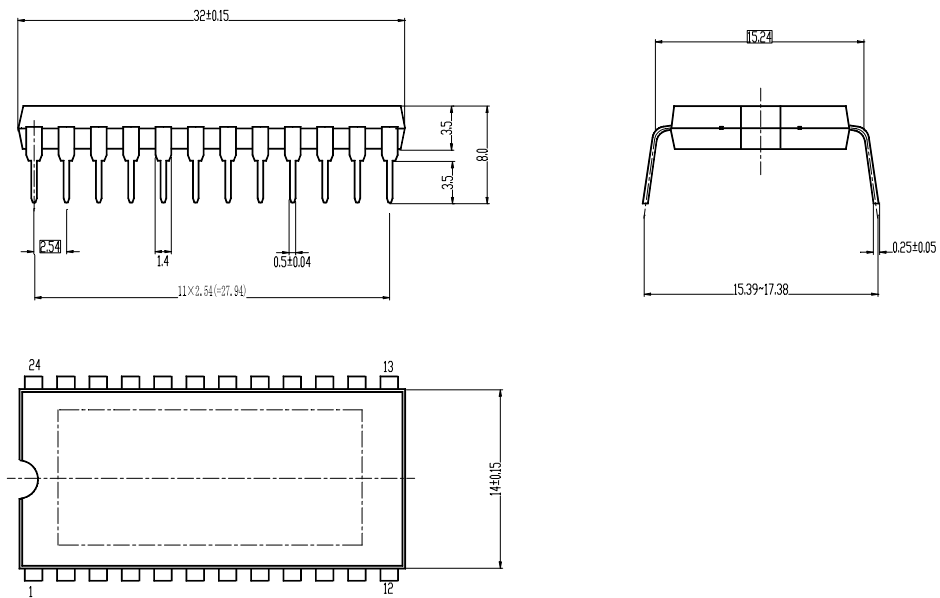
马达在空载且最大转速时反向电动势 EMF 与电源一样大。在制动的开始，峰值电流接近于两倍马达制动时的电流。下图为两个周期的交换波形图，第一个周期（ $0^\circ \sim 360^\circ$ ）马达全速工作，第二个周期（ $360^\circ \sim 720^\circ$ ）马达减速于 50% 的脉宽调制。



三相六步全波交换波形图

7. 外形尺寸

DIP24



SOP24

