TL494 脉宽调制控制电路

1 特性

- 完整的 PWM 电源控制电路
- 200mA 灌电流或源电流的非限定输出
- 输出控制选择单端或推挽模式
- 内部电路禁止在任一输出端出现双脉冲
- 可变死区时间可在整个范围内提供控制
- 内部稳压器提供具有 5% 容差的稳定 5V 参考电源
- 电路架构允许轻松同步

2 应用

- 台式电脑
- 微波炉
- 电源：具有或不具有 PFC 的隔离式交流/直流电源
- 服务器 PSU
- 光伏微型逆变器
- 洗衣机：低端和高端
- 电动自行车
- 电源：电信/服务器交流/直流电源：双路控制器：模拟式
- 烟雾探测器
- 光伏电源逆变器

3 说明

TL494 器件在单个芯片上集成了构建脉宽调制 (PWM) 控制电路所需的所有功能。该器件主要设计用于电源控制，可灵活地根据具体应用来定制电源控制电路。

TL494 器件包含两个误差放大器、一个片上可调节振荡器、一个死区时间控制 (DTC) 比较器、一个脉冲转向控制触发器、一个 5V、5% 精度的稳压器以及一些输出控制电路。

误差放大器的共模电压范围为 –0.3V 至 V_{CC} –2V。死区时间控制比较器具有固定偏移，可提供约 5% 的死区时间。片上振荡器可以通过将 RT 端接到基准输出端并为 CT 提供锯齿输入来旁路掉，或者它可以驱动同步多轨电源中的公共电路。

非限定的输出晶体管提供共源极或共源极跟随器输出能力。TL494 器件提供推挽或单端输出模式，可通过输出控制功能进行选择。该器件的架构杜绝了在推挽工作模式期间让任一个输出发生两次脉冲的可能性。

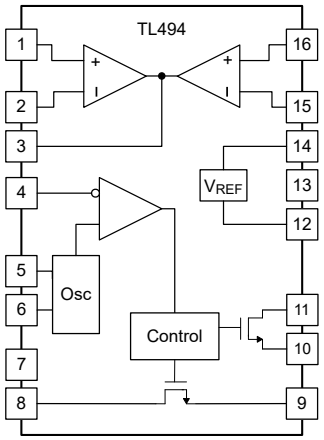
TL494 器件的额定工作温度范围为 0°C 至 70°C。TL494I 器件的额定工作温度范围为 –40°C 至 85°C。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)
TL494	D（SOIC，16）	9.90mm × 3.91mm
	N（PDIP、16）	19.30mm × 6.35mm
	NS（SOP，16）	10.30mm × 5.30mm
	PW（TSSOP，16）	5.00mm × 4.40mm

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的可订购产品附录。

(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。



简化版方框图

本资源的原文使用英文撰写。 为方便起见，TI 提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，TI 不保证译文的准确性。 为确认准确性，请务必访问 ti.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

内容

1 特性 1
2 应用 1
3 说明 1
4 引脚配置和功能 3
5 规格 4
5.1 绝对最大额定值 4
5.2 ESD 等级 4
5.3 建议运行条件 4
5.4 热性能信息 4
5.5 电气特性，基准部分 5
5.6 电气特性，振荡器部分 5
5.7 电气特性，误差放大器部分 5
5.8 电气特性，输出部分 7
5.9 电气特性，死区时间控制部分 7
5.10 电气特性，PWM 比较器部分 7
5.11 电气特性，整个器件 7
5.12 开关特性 7
5.13 典型特性 9
6 参数测量信息 10
7 详细说明 12
7.1 概述 12
7.2 功能方框图 12
7.3 特性说明 12
7.4 器件功能模式 14
8 应用和实现 15
8.1 应用信息 15
8.2 典型应用 15
8.3 电源相关建议 21
8.4 布局 21
9 器件和文档支持 23
9.1 接收文档更新通知 23
9.2 支持资源 23
9.3 文档支持 23
9.4 商标 23
9.5 静电放电警告 23
9.6 术语表 23
10 修订历史记录 23
11 机械、封装和可订购信息 24

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 引脚配置和功能

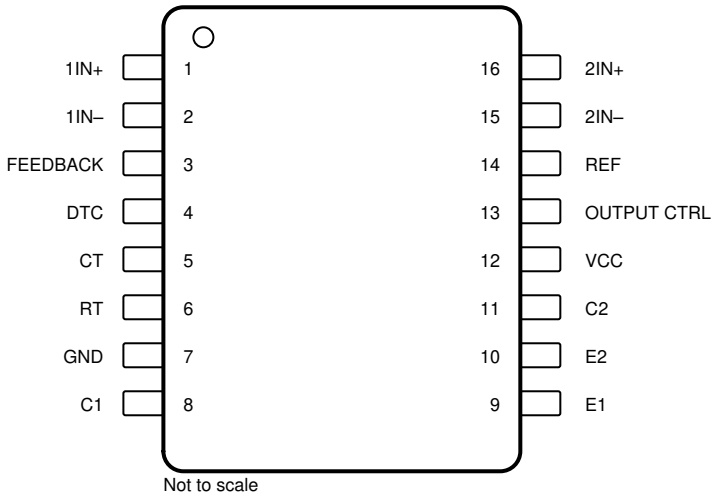


图 4-1. D、N、NS 或 PW 封装 16 引脚 SOIC、PDIP、SO 或 TSSOP 顶视图

表 4-1. 引脚功能

引脚		类型(1)	说明
名称	编号		
1IN-	2	I	误差放大器 1 的反相输入
1IN+	1	I	误差放大器 1 的非反相输入
2IN-	15	I	误差放大器 2 的反相输入
2IN+	16	I	误差放大器 2 的非反相输入
C1	8	O	MOSFET 输出 1 的漏极端子
C2	11	O	MOSFET 输出 2 的漏极端子
CT	5	—	用于设置振荡器频率的电容器端子
DTC	4	I	死区时间控制比较器输入
E1	9	O	MOSFET 输出 1 的源极端子
E2	10	O	MOSFET 输出 2 的源极端子
反馈	3	I	反馈输入引脚
GND	7	—	接地
OUTPUT CTRL	13	I	选择单端/并行输出或推挽模式
REF	14	O	5V 参考稳压器输出
RT	6	—	用于设置振荡器频率的电阻端子
V_{CC}	12	—	正电源

(1) I = 输入，O = 输出

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 规格

5.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）(1)

		最小值	最大值	单位
V_{CC}	电源电压(2)		41	V
V_I	放大器输入电压		V_{CC} + 0.3	V
V_O	集电极输出电压		41	V
I_O	集电极输出电流		250	mA
	10 秒内距离外壳 1.6mm（1/16 英寸）的引线温度		260	°C
T_{stg}	贮存温度范围	-65	150	°C

(1) 超出*绝对最大额定值*运行可能会对器件造成永久损坏。*绝对最大额定值*并不表示器件在这些条件下或在*建议运行条件*以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出*建议运行条件*但在*绝对最大额定值*范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能并缩短器件寿命。
(2) 所有电压都是相对于网络接地端的电压。

5.2 ESD 等级

			最大值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001，所有引脚	500	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 JEDEC 规范 JESD22-C101，所有引脚	200	

5.3 建议运行条件

			最小值	最大值	单位
V_{CC}	电源电压		7	40	V
V_I	放大器输入电压		-0.3	V_{CC} – 2	V
V_O	集电极输出电压			40	V
	集电极输出电流（每个晶体管）			200	mA
	进入反馈端子的电流			0.3	mA
f_{OSC}	振荡器频率		1	300	kHz
C_T	计时电容器		0.47	10000	nF
R_T	计时电阻器		1.8	500	kΩ
T_A	自然通风条件下的工作温度范围	TL494C	0	70	°C
		TL494I	– 40	85	

5.4 热性能信息

热指标(1)		TL494				单位
		D (SOIC)	N (PDIP)	NS (SO)	PW (TSSOP)	
		16 引脚	16 引脚	16 引脚	16 引脚	
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	88.0	73.8	95.3	114.0	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	51.4	52.9	56.8	53.2	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	50.6	49.2	62.0	71.8	°C/W
ψ_{JT}	结至顶部特征参数	14.5	31.3	19.6	7.3	°C/W
ψ_{JB}	结至电路板特征参数	50.1	48.6	61.3	71.2	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅*半导体和 IC 封装热指标*应用手册。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.5 电气特性，基准部分

在推荐的自然通风条件下的工作温度范围内测得，V_{CC} = 15V，f = 10kHz（除非另有说明）

参数	测试条件(1)	TL494C，TL494I			单位
		最小值	典型值(2)	最大值	
输出电压 (REF)	I_O = 1mA	4.75	5	5.25	V
输入调节	V_{CC} = 7V 至 40V		2	25	mV
输出调节	I_O = 1mA 至 10mA		6	15	mV
输出电压随温度的变化	ΔT_A = 最小值至最大值		2	10	mV/V
短路输出电流(3)	REF = 0V		35		mA

(1) 对于显示为“最小值”或“最大值”的条件，请使用在建议运行条件下指定的相应值。
(2) 除参数随温度的变化外，所有典型值均为 T_A = 25°C 时测得的值。
(3) 短路持续时间不应超过一秒。

5.6 电气特性，振荡器部分

C_T = 0.01 µF，R_T = 12kΩ（请参阅图 6-1）

参数	测试条件(1)	TL494C，TL494I			单位
		最小值	典型值(2)	最大值	
频率			10		kHz
频率的标准差(3)	所有 V_{CC}、C_T、R_T 和 T_A 常数值		100		Hz/kHz
频率随电压的变化	V_{CC} = 7V 至 40V，T_A = 25°C		1		Hz/kHz
频率随温度的变化(4)	ΔT_A = 最小值至最大值			50	Hz/kHz

(1) 对于显示为“最小值”或“最大值”的条件，请使用在建议运行条件下指定的相应值。
(2) 除参数随温度的变化外，所有典型值均为 T_A = 25°C 时测得的值。
(3) 标准差可以衡量关于平均值的统计分布情况，由以下公式得出：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N}\left[x_n - \overline{X}\right]^2}{N-1}} \quad (1)$$

(4) 不考虑计时电容器和计时电阻器的温度系数。

5.7 电气特性，误差放大器部分

请参阅 图 6-2

参数	测试条件	TL494C，TL494I			单位
		最小值	典型值(1)	最大值	
输入偏移电压	V_O (FEEDBACK) = 2.5V		2	10	mV
输入偏移电流	V_O (FEEDBACK) = 2.5V		25	250	nA
输入偏置电流	V_O (FEEDBACK) = 2.5V		0.2	1	µA
共模输入电压范围	V_{CC} = 7V 至 40V	–0.3 至 V_{CC} – 2			V
开环电压放大	ΔV_O = 3V，V_O = 0.5V 至 3.5V，R_L = 2kΩ	70	80		dB
单位增益带宽	V_O = 0.5V 至 3.5V，R_L = 2kΩ		800		kHz
共模抑制比	ΔV_O = 40V，T_A = 25°C	65	100		dB
输出灌电流 (FEEDBACK)	V_{ID} = –15mV 至 –5V，V (FEEDBACK) = 0.7V	0.3	0.7		mA

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

请参阅 图 6-2

参数	测试条件	TL494C，TL494I			单位
		最小值	典型值 (1)	最大值	
输出拉电流 (FEEDBACK)	V_{ID} = 15mV 至 5V，V (FEEDBACK) = 3.5V	-2			mA

(1) 除参数随温度的变化外，所有典型值均为 T_A = 25°C 时测得的值。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.8 电气特性，输出部分

参数		测试条件	最小值	典型值(1)	最大值	单位
C1、C2 关断状态电流		V_{CE} = 40V，V_{CC} = 40V		4	100	μA
E1、E2 关断状态电流		V_{CC} = V_C = 40V，V_E = 0			-100	μA
C1E1、C2E2 饱和电压	共源极	V_E = 0，I_C = 200mA		0.5	1.3	V
	源极跟随器	$V_{O(C1/C2)}$ = 15V，I_E = –200mA		1.65	2.5	
输出控制输入电流		V_I = V_{ref}			3.5	mA

(1) 除温度系数外，所有典型值均为 T_A = 25°C 时测得的值。

5.9 电气特性，死区时间控制部分

请参阅 图 6-1

参数	测试条件	最小值	典型值(1)	最大值	单位
输入偏置电流 (DEAD-TIME CTRL)	V_I = 0 至 5.25V		-0.006	-10	μA
最大占空比，每个输出	V_I（死区时间控制）= 0，C_T = 0.01 μF，R_T = 12kΩ		45%		—
输入阈值电压 (DEAD-TIME CTRL)	零占空比		2.5	3.3	V
	最大占空比	0			

(1) 除温度系数外，所有典型值均为 T_A = 25°C 时测得的值。

5.10 电气特性，PWM 比较器部分

请参阅 图 6-1

参数	测试条件	最小值	典型值(1)	最大值	单位
输入阈值电压 (FEEDBACK)	零占空比		3.4	4.5	V
输入灌电流 (FEEDBACK)	V (FEEDBACK) = 0.7V	0.3	0.7		mA

(1) 除温度系数外，所有典型值均为 T_A = 25°C 时测得的值。

5.11 电气特性，整个器件

参数	测试条件		最小值	典型值(1)	最大值	单位
待机电源电流	R_T = V_{ref}，所有其他输入和输出均为开路	V_{CC} = 15V		1.62	10	mA
		V_{CC} = 40V		1.68	15	
平均电源电流	V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2V，请参阅图 6-1			2.2		mA

(1) 除温度系数外，所有典型值均为 T_A = 25°C 时测得的值。

5.12 开关特性

T_A = 25°C

参数	测试条件	最小值	典型值(1)	最大值	单位
上升时间	共源极配置，请参阅图 6-3		70	200	ns
下降时间			20	100	ns

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

T_A = 25°C

参数	测试条件	最小值	典型值 (1)	最大值	单位
上升时间	源极跟随器配置，请参阅图 6-4		85	200	ns
下降时间			35	100	ns

(1) 除温度系数外，所有典型值均为 T_A = 25°C 时测得的值。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5.13 典型特性

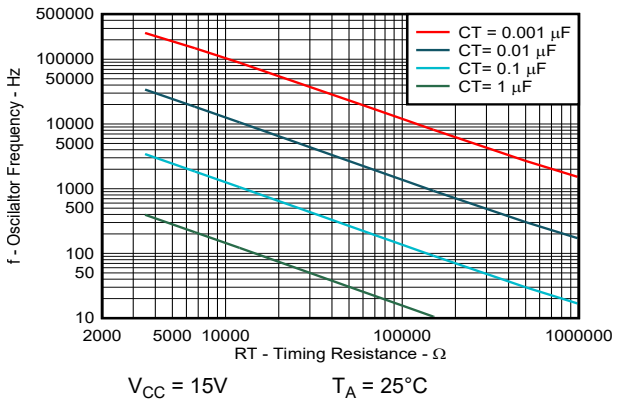


图 5-1. 振荡器频率与时序电阻之间的关系

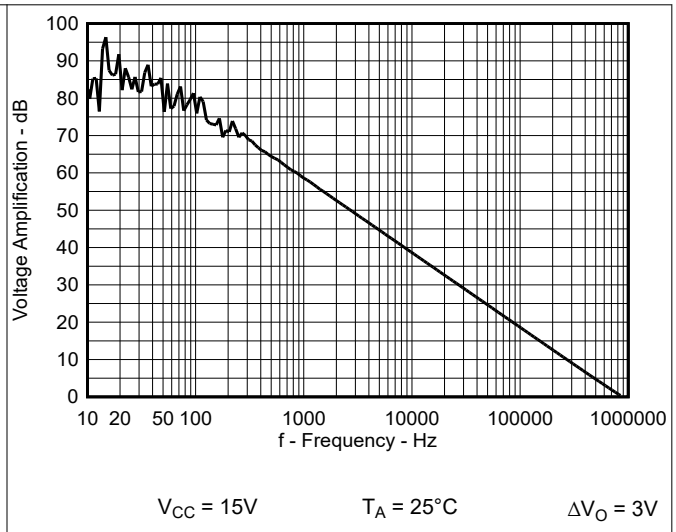


图 5-2. 放大器电压放大倍数与频率间的关系

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

6 参数测量信息

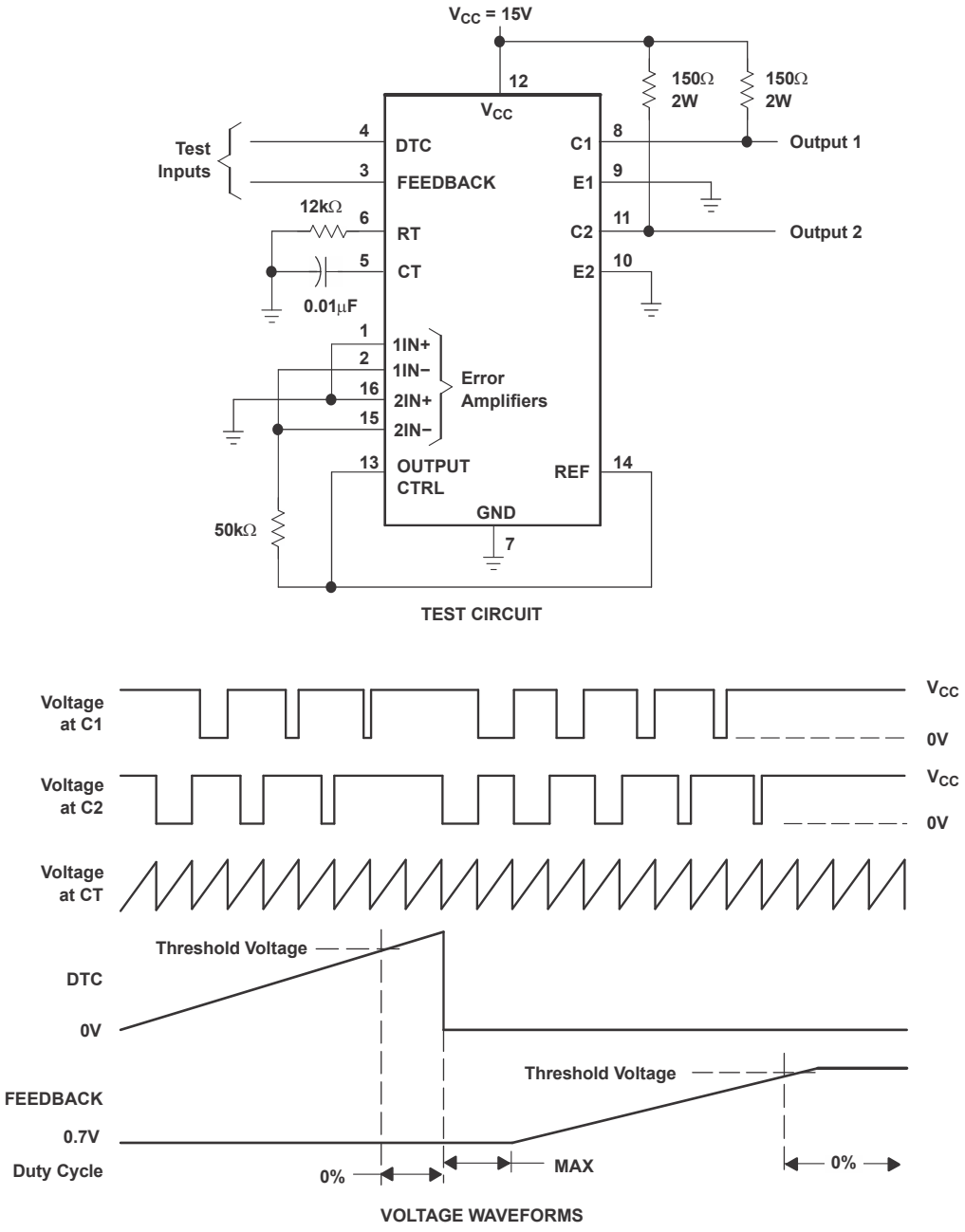


图 6-1. 运行测试电路和波形

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

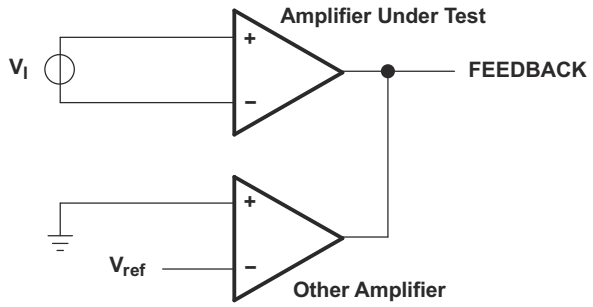


图 6-2. 放大器特性

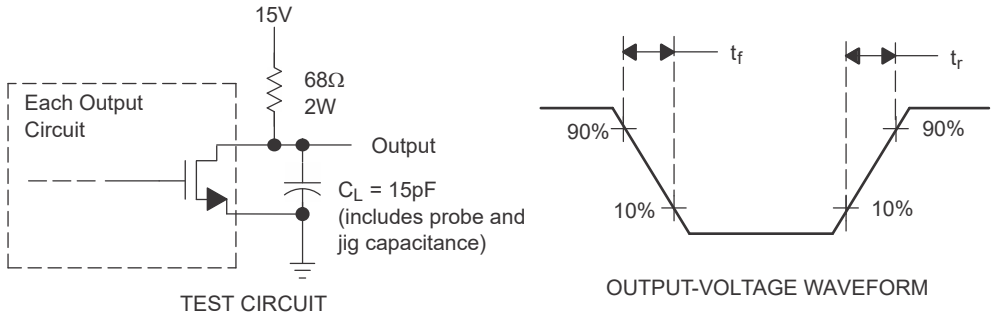


图 6-3. 共发射极配置

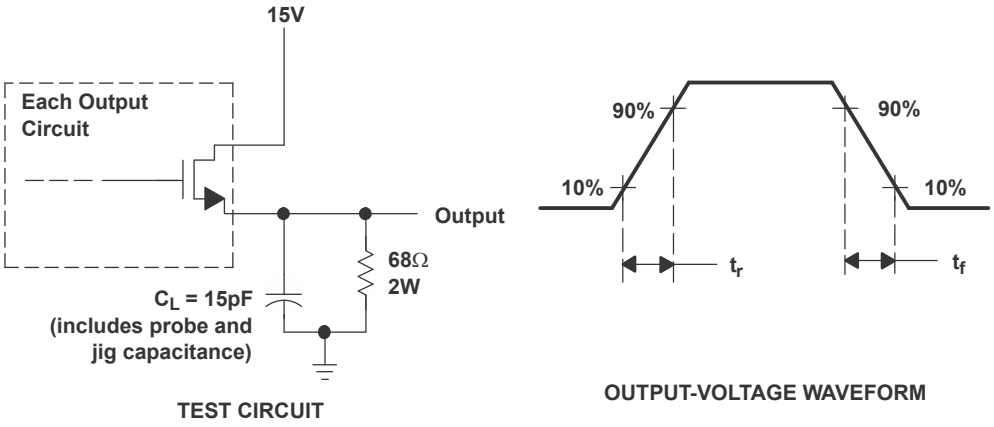


图 6-4. 发射极跟随器配置

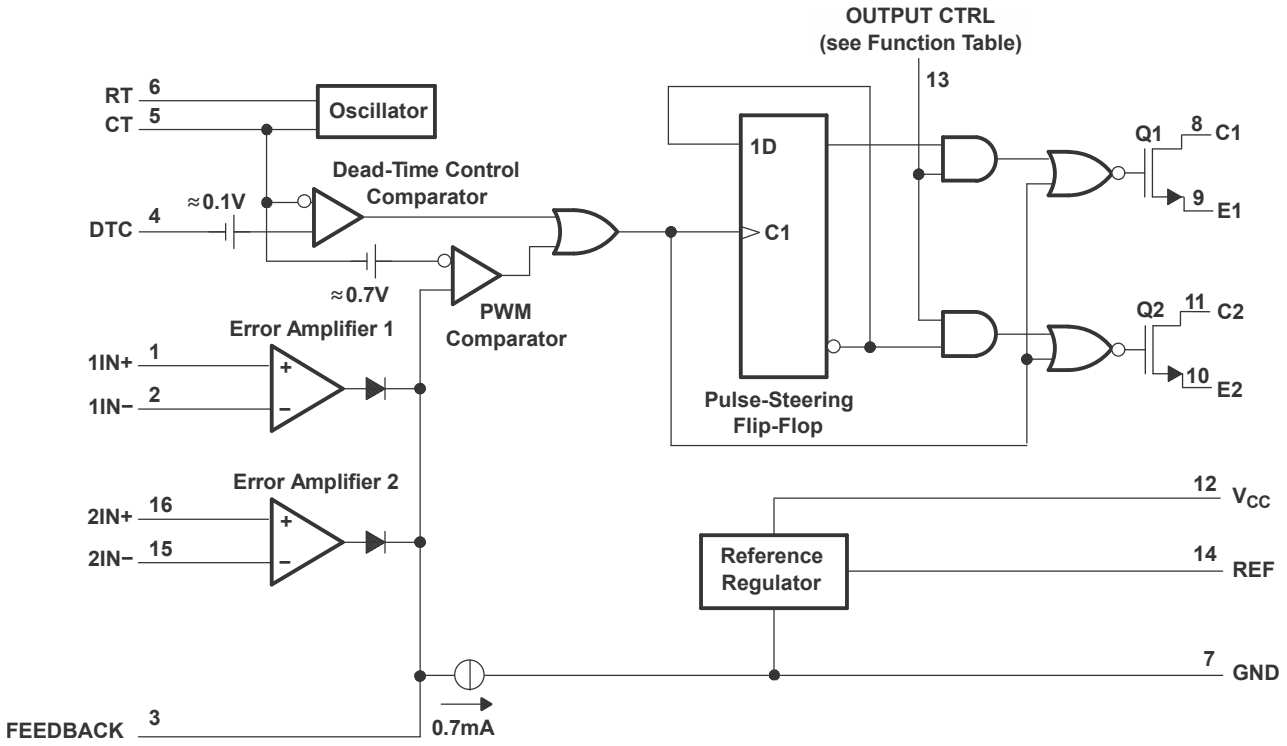
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

7 详细说明

7.1 概述

TL494 的设计包含了控制开关电源所需的基本构建模块，解决了基本问题，并减少了整体设计中所需的额外电路数量。TL494 是一种固定频率的脉宽调制 (PWM) 控制电路。计时电容器 (CT) 上的内部振荡器产生锯齿波形。通过将锯齿波形与两个控制信号之一进行比较，实现输出脉冲的调制。当锯齿电压大于电压控制信号时，输出级将启用。随着控制信号的增加，锯齿输入处于较大状态的时间减少；因此，输出脉冲持续时间缩短。一个脉冲转向触发器会交替地将调制的脉冲引导至两个输出晶体管中的每一个。更多有关 TL494 工作原理的信息，请参阅 ti.com 上的相关应用手册。

7.2 功能方框图



7.3 特性说明

7.3.1 5V 参考稳压器

TL494 内部 5V 参考稳压器输出端为 REF 引脚。除了提供稳定的参考之外，TL494 还充当前置稳压器，并建立稳定的电源，为输出控制逻辑、脉冲转向触发器、振荡器、死区时间控制比较器和 PWM 比较器供电。该稳压器采用带隙电路作为其主要参考，可在 0°C 至 70°C 的自然通风工作温度范围内保持热稳定性（变化小于 100mV）。短路保护功能可以保护内部参考和前置稳压器；10mA 的负载电流可用于附加偏置电路。该参考内部编程为 ±5% 的初始精度，并在 7V 至 40V 的输入电压范围内保持变化小于 25mV 的稳定性。对于低于 7V 的输入电压，稳压器输出保持为 0V，直到内部基准达到有效电平，然后转换为 5V，从而产生更确定的启动行为，如图 8-8 所示

7.3.2 振荡器

振荡器为死区时间和 PWM 比较器提供正锯齿波形，以便与各种控制信号进行比较。

振荡器的频率通过选择计时元件 R_T 和 C_T 进行设定。振荡器以恒定电流为外部计时电容器 C_T 充电。外部计时电阻器 R_T 决定了恒定电流值，并产生线性斜坡电压波形。当 C_T 上的电压达到 3V 时，振荡器电路会将其放电，并重新开始充电周期。方程式 2 决定充电电流。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

$$I_{CHARGE} = \frac{3V}{R_T} \quad (2)$$

锯齿波形的周期为：

$$T = \frac{3V \times C_T}{I_{CHARGE}} \quad (3)$$

振荡器的频率变为：

$$f_{OSC} = \frac{1}{R_T \times C_T} \quad (4)$$

但是，振荡器频率仅在单端应用中等于输出频率。对于推挽应用，输出频率是振荡器频率的二分之一。

单端应用：

$$f = \frac{1}{R_T \times C_T} \quad (5)$$

推挽应用：

$$f = \frac{1}{2R_T \times C_T} \quad (6)$$

7.3.3 死区时间控制

死区时间控制输入可提供对最小死区时间（关断时间）的控制。当输入电压大于振荡器的斜坡电压时，比较器的输出将禁止开关晶体管 Q1 和 Q2。110mV 的内部失调电压可确保在死区时间控制输入端接地时的最小死区时间约为 3%。向死区时间控制输入端施加电压会增加死区时间。因此，当输入电压从 0V 变化到 3.3V 时，可对死区时间（分别对应最小值 3% 到 100%）进行线性控制。在全范围控制下，可由外部源控制输出，而不会干扰误差放大器。死区时间控制输入是一个相对高阻抗的输入 (I_I < 10 μA)，应在需要对输出占空比进行额外控制的情况下使用。但为了正确控制，请终止输入。开路是一种未定义的条件。

7.3.4 比较器

比较器从 5V 基准稳压器进行偏置，并与输入电源隔离以提高稳定性。比较器的输入没有迟滞现象，因此必须防止阈值附近的误触发。比较器从任一控制信号输入到输出晶体管的响应时间为 400ns，过驱只有 100mV。这样可在半个周期内对输出进行正向控制，从而在建议的 300kHz 范围内运行。

7.3.5 脉宽调制 (PWM)

比较器还提供对输出脉宽的调制控制。为此，要将计时电容器 C_T 上的斜坡电压与误差放大器输出端的控制信号进行比较。计时电容器输入端包含一个串联二极管，但控制信号输入端省略了该二极管。这就要求控制信号（误差放大器输出）比 C_T 上的电压高 0.7V 以禁止输出逻辑，并确保以最大占空比运行，而无需控制电压降至真正的接地电位。随着误差放大器输出端的电压从 0.5V 变化到 3.5V，输出脉宽分别从周期的 97% 变化到 0。

7.3.6 误差放大器

两个高增益误差放大器都从 V_I 电源轨接收偏置。这样可让共模输入电压处于 –0.3V 至 2V 范围内，低于 V_I。两个放大器都具有单端单电源放大器的特性：每个输出仅高电平有效。因此，每个放大器可独立上拉以降低输出脉冲宽度需求。当两个输出在 PWM 比较器的反相输入节点上进行“或”运算时，需要最小脉冲输出的放大器将占主导地位。放大器输出由电流接收器偏置为低电平，以便在两个放大器都偏置为关断时提供最大脉宽输出。

7.3.7 输出控制输入

输出控制输入决定了输出晶体管是以并行模式还是推挽式模式运行。此输入是脉冲转向触发器的电源。输出控制输入是异步的，可以直接控制输出，与振荡器或脉冲转向触发器无关。根据设计，输入条件是由应用定义的固定

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

条件。在并行模式下，输出控制输入必须接地。这样做将禁用脉冲转向触发器并禁止输出。在此模式下，输出晶体管并联工作，共同传输死区控制/PWM 比较器输出端看到的脉冲信号。在推挽模式下，请将输出控制输入连接到内部 5V 参考稳压器。在这种情况下，每个输出晶体管由脉冲转向触发器进行交替启用。

7.3.8 输出晶体管

TL494 上有两个输出晶体管。两个晶体管均采用开漏/开源结构，每个都能够灌入或拉出高达 200mA 的电流。这些晶体管的饱和电压在共源极配置中小于 1.3V，在源极跟随器配置中小于 2.5V。输出受到保护，防止过大的功耗导致损坏，且未采用足够的限流措施，因此无法作为电流源输出工作。

7.4 器件功能模式

当 OUTPUT CTRL 引脚连接到接地端时，TL494 以单端或并行模式运行。当 OUTPUT CTRL 引脚连接到 V_{REF} 时，TL494 以正常的推挽模式运行。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8 应用和实现

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客 户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

8.1 应用信息

以下设计示例使用 TL494 来创建 5V/10A 电源。有关更多信息，请参阅使用 TL494 设计开关电压稳压器。

8.2 典型应用

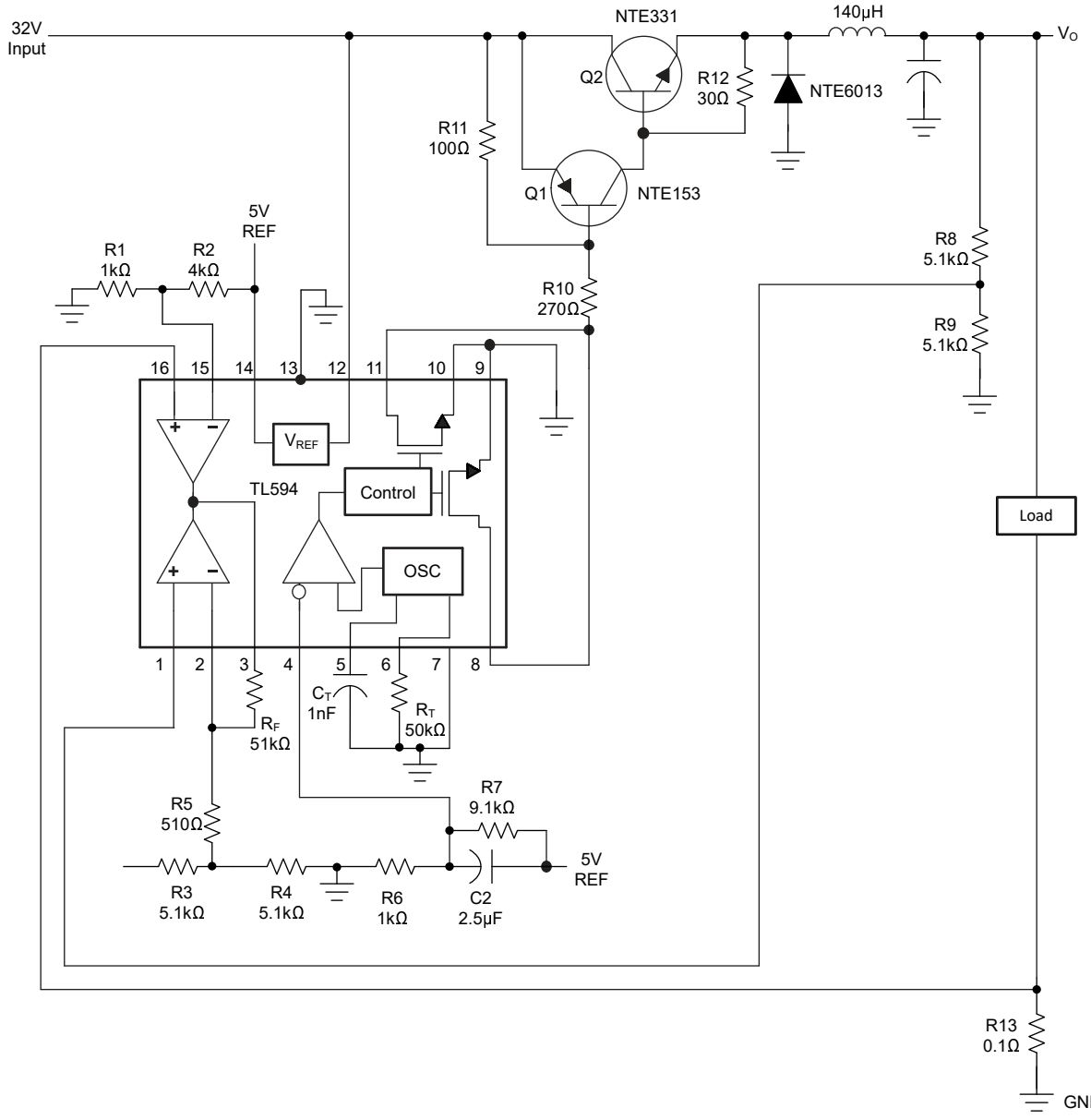


图 8-1. 开关和控制部分

8.2.1 设计要求

- V_I = 32V
- V_O = 5V
- I_O = 10A
- f_{OSC} = 20kHz 开关频率
- V_R = 20mV 峰值间 (V_{RIPPLE})
- ΔI_L = 1.5A 电感器电流变化

8.2.2 详细设计过程

8.2.2.1 输入电源

此电源的 32V 直流电源使用额定功率为 75VA 的 120V 输入、24V 输出变压器。24V 次级绕组依次向一个全波桥式整流器、一个限流电阻器 (0.3Ω) 和两个滤波电容器供电（请参阅图 8-2）。

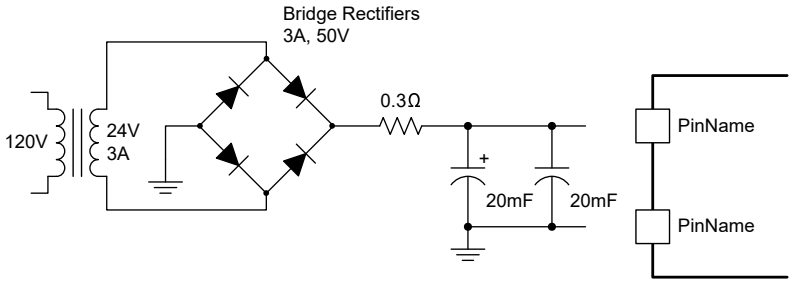


图 8-2. 输入电源

方程式 7 和方程式 8 决定输出电流和电压。

$$V_{RECTIFIER} = V_{SECONDARY} \times \sqrt{2} = 24V \times \sqrt{2} = 34V \quad (7)$$

$$I_{RECTIFIER[AVG]} \cong \frac{V_O}{V_I} \times I_O \cong \frac{5V}{32V} \times 10A = 1.6A \quad (8)$$

3A/50V 全波桥式整流器满足这些计算条件。图 8-1 所示为开关和控制部分。

8.2.2.2 控制电路

8.2.2.2.1 振荡器

将外部电容器和电阻器连接到引脚 5 和 6 可控制 TL494 振荡器频率。振荡器设置为在 20kHz 下运行，并会使用由方程式 4 和方程式 9 计算出的元件值：

选择 C_T = 0.001 µF 并计算 R_T：

$$R_T = \frac{1}{f_{OSC} \times C_T} = \frac{1}{\left[20 \times 10^3\right] \times \left[0.001 \times 10^{-6}\right]} = 50k\Omega \quad (9)$$

8.2.2.2.2 误差放大器

误差放大器将 5V 输出的样本与参考进行比较，并调节 PWM 以保持恒定的输出电流（请参阅图 8-3）。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

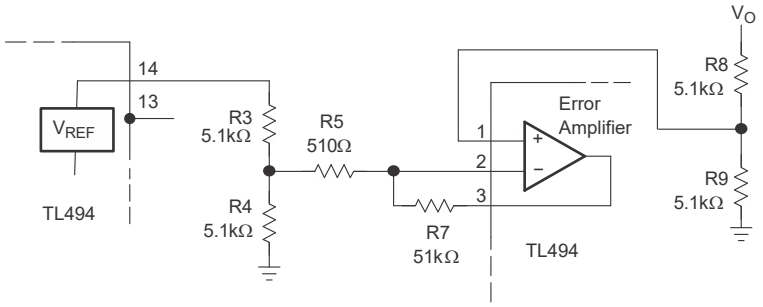


图 8-3. 误差放大器部分

TL494 内部 5V 参考电压由 R3 和 R4 分压为 2.5V。输出电压误差信号也由 R8 和 R9 分压为 2.5V。如果必须将输出电压精确调节到 5.0V，则可以使用 10kΩ 电位器代替 R8 进行调节。

为了增加误差放大器电路的稳定性，误差放大器的输出通过 R_T 反馈到反相输入端，从而将增益降低到 101。

8.2.2.2.3 限流放大器

该电源设计为用于 10A 的负载电流和 1.5A 的 I_L 摆幅，因此，短路电流应为：

$$I_{SC} = I_O + \frac{I_L}{2} = 10.75A \tag{10}$$

图 8-4 展示了电流限制电路。

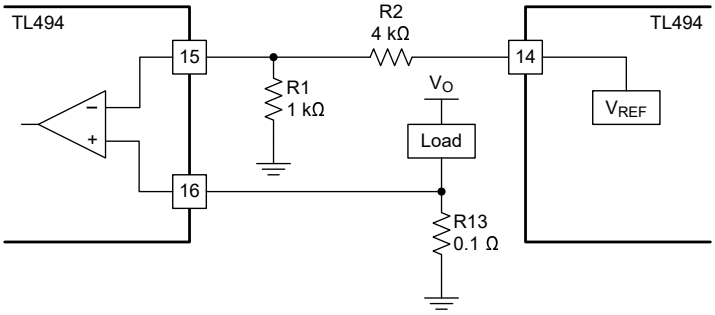


图 8-4. 限流电路

电阻 R1 和 R2 在限流放大器的反相输入端设置大约 1V 的基准电压。当负载电流达到 10A 时，电阻 R13 与负载串联，向电流限幅放大器的非反相端施加 1V 电压。输出脉冲持续时间会相应地缩短。方程式 11 可计算 R13 的值。

$$R13 = \frac{1V}{10A} = 0.1\Omega \tag{11}$$

8.2.2.2.4 软启动和死区时间

为了减轻启动时开关晶体管上的应力，必须降低输出滤波电容器充电时出现的启动浪涌。由于可以进行死区时间控制，软启动电路的实现相对简单（请参阅图 8-5）。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

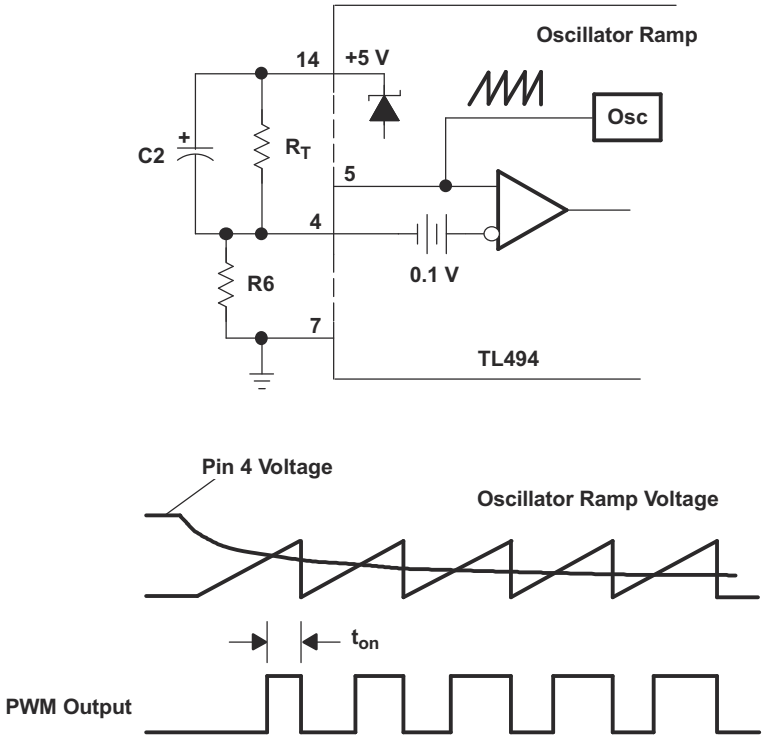


图 8-5. 软启动电路

软启动电路通过将负斜率波形施加到死区时间控制输入端（引脚 4），可让输出端的脉宽缓慢增加（请参阅图 8-5）。

最初，电容器 C2 强制死区时间控制输入跟随 5V 稳压器，从而禁用输出（100% 死区时间）。随着电容器通过 R6 进行充电，输出脉冲持续时间会缓慢增加，直到控制环路接受指令为止。当 R6 和 R7 的电阻比为 1:10 时，启动后引脚 4 的电压为 0.1 × 5V，即 0.5V。

软启动时间通常在 25 到 100 个时钟周期的范围内。如果选择 20kHz 开关速率下的 50 个时钟周期，则软启动时间为：

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{20kHz} = 50\mu s \text{ per clock cycle} \quad (12)$$

使用以下公式计算电容器的值：

$$C2 = \frac{\text{soft} - \text{start time}}{R6} = \frac{50\mu s \times 50 \text{ cycles}}{1k\Omega} = 2.5\mu F \quad (13)$$

这有助于消除在向控制电路供电时产生的任何错误信号。

8.2.2.3 电感器计算

图 8-6 展示了开关电路。

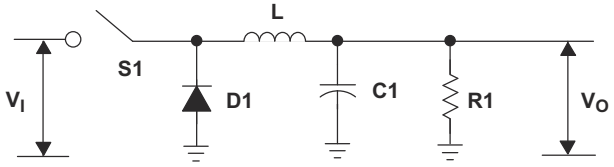


图 8-6. 开关电路

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

所需电感器 (L) 尺寸为：

$$d = \text{duty cycle} = \frac{V_O}{V_I} = \frac{5V}{32V} = 0.156 \tag{14}$$

$$f = 20\text{kHz (design objective)} \tag{15}$$

$$t_{ON} = \text{time on (S1 closed)} = \left(\frac{1}{f}\right) \times d = 7.8\mu s \tag{16}$$

$$t_{OFF} = \text{time off (S1 open)} = \left(\frac{1}{f}\right) - \text{ton} = 42.2\mu s \tag{17}$$

$$\begin{aligned} L &\approx (V_I - V_O) \times \frac{t_{ON}}{\Delta I_L} \\ &\approx \frac{[(32V - 5V) \times 7.8\mu s]}{1.5A} \\ &\approx 140.4\mu H \end{aligned} \tag{18}$$

8.2.2.4 输出电容计算

计算滤波电感器后，再计算输出滤波电容器的数值，以满足输出纹波的要求。将电解电容器建模为电感、电阻和电容的串联结果。为了提供良好的滤波，纹波频率必须远低于让串联电感变得重要的频率。因此，两个相关组件是电容和有效串联电阻 (ESR)。根据指定的峰值间纹波电压和峰值间纹波电流之间的关系，计算得出最大 ESR。

$$ESR[\max] = \frac{\Delta V_{O[ripple]}}{\Delta I_L} = \frac{V}{1.5A} \cong 0.067\Omega \tag{19}$$

使用方程式 20 计算将 V_O 纹波电压保持在低于 100mV 设计目标所需的 C3 最小电容。

$$C3 = \frac{\Delta I_L}{8f\Delta V_O} = \frac{1.5A}{8 \times 20 \times 10^3 \times 0.1V} = 94\mu F \tag{20}$$

这种情况下可选择 220mF、60V 电容器，因为 60V 电容器的最大 ESR 为 0.074 Ω，最大纹波电流为 2.8A。

8.2.2.5 晶体管电源开关计算

晶体管电源开关由 NTE153 pnp 驱动晶体管和 NTE331 npn 输出晶体管构成。这两个电源器件以 pnp 混合达林顿电路配置进行连接（请参阅图 8-7）。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

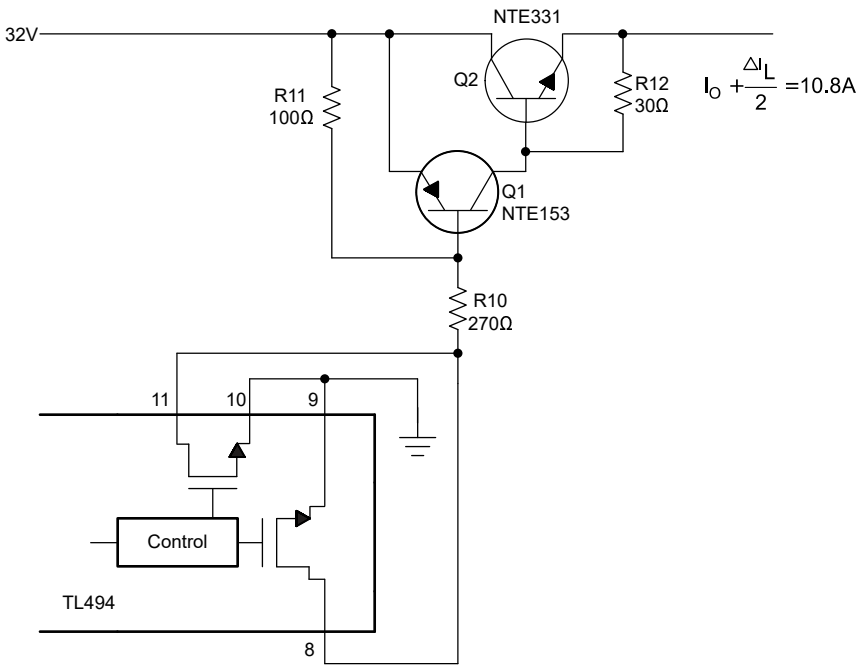


图 8-7. 电源开关部分

混合达林顿电路必须在最大输出电流 $I_O + \Delta I_L/2$（即 10.8A）下达到饱和。10.8A 时的达林顿 h_{FE} 必须足够高，不能超过 TL494 的 250mA 最大输出集电极电流。根据已发布的 NTE153 和 NTE331 规范，使用方程式 21 至方程式 23 计算出所需的电源开关最小驱动电流为 144mA：

$$h_{FE}[Q1] \text{ at } I_C \text{ of } 3A = 15 \tag{21}$$

$$h_{FE}[Q2] \text{ at } I_C \text{ of } 10.0A = 5 \tag{22}$$

$$i_B \geq \frac{I_O + \frac{I_L}{2}}{h_{FE}[Q2] \times h_{FE}[Q1]} \geq 144mA \tag{23}$$

使用以下公式计算 R10 的值：

$$R10 \leq \frac{V_I - [V_{BE}(Q1) + V_{CE}(TL494)]}{i_B} = \frac{32 - [1.5 + 0.7]}{0.144}$$
$$R10 \leq 207\Omega \tag{24}$$

根据这些计算的结果，为 R10 选择的是最接近的标准电阻值 220Ω。电阻 R11 和 R12 在电阻器关闭时允许开关晶体管中的载流子放电。

此处说明的电源展示了 TL494 PWM 控制电路的灵活性。这个电源设计演示了 TL494 提供的许多电源控制方法，以及控制电路的多功能性。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

8.2.3 应用输出特性曲线

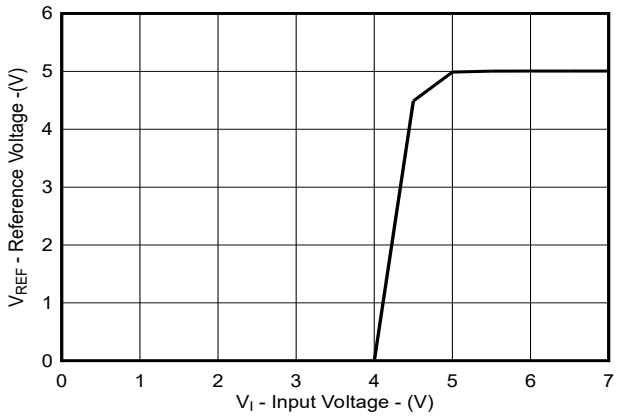


图 8-8. 基准电压与输入电压间的关系

8.3 电源相关建议

TL494 设计为可在 7V 至 40V 的输入电源电压范围内运行。实现良好的输入电源稳压。如果输入电源距离器件超过几英寸，那么除了陶瓷旁路电容器之外，还可能需要额外的大容量电容。典型的选择是容值为 47 µ F 的钽电容器，但是这可能会因输出功率的不同而有所不同。

8.4 布局

8.4.1 布局指南

应始终尽量选用低 EMI 的电感器，并采用铁氧体类闭合磁芯，例如环形电感器和封装式 E 型磁芯电感器。只有在开放式磁芯电感具备低 EMI 特性，并且放置得离低功率走线和元件稍远一些时，才可使用开放式磁芯电感。如果使用开放磁芯，也要使磁极垂直于 PCB。棒状磁芯通常会发出极不理想的噪声。

8.4.1.1 反馈布线

尽量使反馈布线远离电感器和有噪声的电源布线。确保反馈迹线尽可能直且略厚一些。这两者之间有时需要权衡，但两者中更关键的是要使其远离电感器 EMI 和其他噪声源。在 PCB 与电感器相对的一侧铺设反馈迹线，并使用接地平面将两者分开。

8.4.1.2 输入/输出电容器

使用低容值陶瓷输入滤波电容器时，应将该电容尽可能靠近 IC 的 VCC 引脚放置，以尽可能消除迹线电感效应，并为 IC 内部电源轨提供更干净的供电电压。一些设计还需要使用从输出端连接到反馈引脚的前馈电容器，这通常是为了确保稳定性。在这种情况下，应将该电容器尽可能靠近 IC 放置。使用表面贴装电容器还可以减少引线长度，并降低噪声耦合到穿孔元件所形成的有效天线的可能性。

8.4.1.3 补偿器件

为确保稳定性，请将外部补偿元件靠近 IC 放置。出于对滤波电容器的相同原因，此处也建议使用表面贴装元件。也不要把表面贴装元件放置得离电感太近。

8.4.1.4 布线和接地平面

- 确保所有电源（大电流）布线尽可能短、直且宽。在标准 PCB 板上，最佳做法是使迹线的绝对最小值为每安培 15mil (0.381mm)。
- 确认电感器、输出电容器和输出二极管彼此尽可能靠近。这有助于降低因高开关电流流经功率走线而辐射的 EMI，同时还能减小引线电感和电阻，从而进一步减少噪声尖峰、振铃以及会产生电压误差的电阻损耗。
- 将 IC、输入电容、输出电容和输出二极管（如适用）的接地端彼此靠近地直接连接到地平面。在 PCB 的两面均设置地平面，以通过减少接地回路误差以及吸收更多由电感辐射的 EMI 来降低噪声。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

- 对于超过两层的多层板，可以使用接地平面来将电源平面（电源布线和元件所在的位置）和信号平面（反馈和补偿以及元件所在的位置）分开，以提高性能。
- 在多层板上，需要使用过孔来连接走线和不同的平面。
- 如果迹线必须将大量电流从一个平面传导到另一个平面，则建议每 200mA 电流使用一个标准过孔。
- 排列组件，使得开关电流环路以同一方向旋转回流。由于开关稳压器的工作方式，有两种电源状态。一种是开关打开时的状态，另一种是开关关闭时的状态。在每个状态下，都有一个由当前导通的电源元件构成的电流环路。放置电源元件时确保在两种状态中的每一种状态下，电流环路都会以相同的方向导通。这可以防止两个半周期之间的布线引起的磁场反转，并减少辐射的 EMI。

8.4.2 布局示例

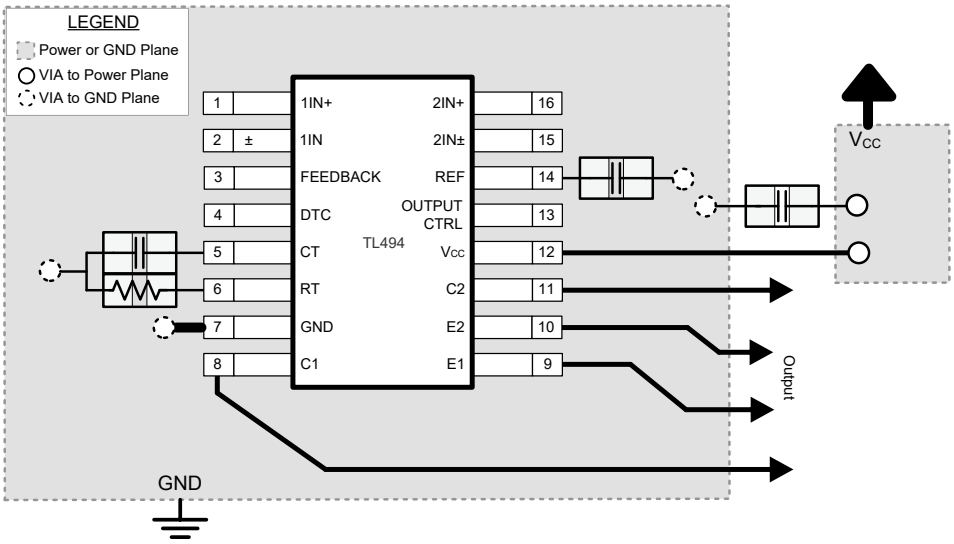


图 8-9. 同相配置的运算放大器电路板布局

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

9 器件和文档支持

9.1 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 ti.com 上的器件产品文件夹。点击*通知* 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

9.2 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的使用条款。

9.3 文档支持

9.3.1 相关文档

- 德州仪器 (TI)，*使用 TL494 设计开关稳压器* 应用手册
- 德州仪器 (TI)，*半导体和 IC 封装热指标* 应用手册

9.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

9.5 静电放电警告

静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

9.6 术语表

TI 术语表　　本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

10 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision I (July 2022) to Revision J (September 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式	1
• 已将整份文档中输出晶体管的描述和符号从 BJT 更新为 MOSFET	1
• 更改了 *热性能信息* 表中所有封装的值	4
• 将输出调节典型值从 1mV 更改为 6mV	5
• 将短路输出电流典型值从 25mA 更改为 35mA	5
• 频率变化随温度变化，最大值从 10Hz/kHz 更改为 50Hz/kHz	5
• 将开环电压增益典型值从 95dB 更改为 80dB	5
• 已将共模抑制比典型值从 80dB 更新为 100dB	5
• 将输出 C1、C2 的关断状态电流典型值从 2 µA 调整为 4 µA	7
• 将共源极配置中的输出 C1E1、C2E2 饱和电压典型值从 1.1V 更改为 0.5V	7
• 将源极跟随器配置中的输出 C1E1、C2E2 饱和电压典型值从 1.5V 更改为 1.65V	7
• 将输入偏置电流（死区时间控制）典型值从 -2 µA 更改至 -0.006 µA	7
• 将输入阈值电压（死区时间控制）典型值从 3V 更改至 2.5V	7
• 将输入阈值电压（反馈）的典型值从 4V 改为 3.4V	7
• 将 VCC = 15V 典型值时的待机电源电流从 6mA 更改为 1.62mA	7

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

- 将 VCC = 40V 典型值时的待机电源电流从 9mA 更改为 1.68mA.....7
- 将电源电流典型值从 7.5mA 更改为 2.2mA.....7
- 将共源配置的上升时间典型值从 100ns 更改为 70ns.....7
- 将共源配置的下降时间典型值从 25ns 更改为 20ns.....7
- 将源极跟随器配置中的上升时间典型值从 100ns 更改为 85ns.....7
- 将源极跟随器配置中的下降时间典型值从 40ns 更改为 35ns.....7
- 更新了振荡器频率与时序电阻之间的关系、放大器电压放大倍数与频率间的关系，并删除了其他.....9
- 更新说明，以对齐 VREF 在输入电压低于 7V 时的行为变更.....12
- 更新了电感器计算的格式.....18
- 更新了参考电压与输入电压应用曲线.....21

Changes from Revision H (March 2017) to Revision I (July 2022) **Page**

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....1

11 机械、封装和可订购信息

以下页面包含机械、封装和可订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。如需获取此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
TL494CD	Obsolete	Production	SOIC (D) | 16	-	-	Call TI	Call TI	0 to 70	TL494C
TL494CDR	Active	Production	SOIC (D) | 16	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU | SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL494C
TL494CDR.A	Active	Production	SOIC (D) | 16	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL494C
TL494CDRG4	Obsolete	Production	SOIC (D) | 16	-	-	Call TI	Call TI	0 to 70	TL494C
TL494CN	Active	Production	PDIP (N) | 16	25 | TUBE	Yes	NIPDAU	N/A for Pkg Type	0 to 70	TL494CN
TL494CN.A	Active	Production	PDIP (N) | 16	25 | TUBE	Yes	NIPDAU	N/A for Pkg Type	0 to 70	TL494CN
TL494CNE4	Active	Production	PDIP (N) | 16	25 | TUBE	Yes	NIPDAU	N/A for Pkg Type	0 to 70	TL494CN
TL494CNSR	Active	Production	SOP (NS) | 16	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL494
TL494CNSR.A	Active	Production	SOP (NS) | 16	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL494
TL494CNSRG4	Active	Production	SOP (NS) | 16	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	TL494
TL494CPW	Obsolete	Production	TSSOP (PW) | 16	-	-	Call TI	Call TI	0 to 70	T494
TL494CPWR	Active	Production	TSSOP (PW) | 16	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	T494
TL494CPWR.A	Active	Production	TSSOP (PW) | 16	2000 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	0 to 70	T494
TL494ID	Obsolete	Production	SOIC (D) | 16	-	-	Call TI	Call TI	-40 to 85	TL494I
TL494IDR	Active	Production	SOIC (D) | 16	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU | SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	TL494I
TL494IDR.A	Active	Production	SOIC (D) | 16	2500 | LARGE T&R	Yes	NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 85	TL494I
TL494IDRG4	Obsolete	Production	SOIC (D) | 16	-	-	Call TI	Call TI	-40 to 85	TL494I
TL494IN	NRND	Production	PDIP (N) | 16	25 | TUBE	Yes	NIPDAU	N/A for Pkg Type	-40 to 85	TL494IN
TL494IN.A	NRND	Production	PDIP (N) | 16	25 | TUBE	Yes	NIPDAU	N/A for Pkg Type	-40 to 85	TL494IN
TL494INE4	NRND	Production	PDIP (N) | 16	25 | TUBE	Yes	NIPDAU	N/A for Pkg Type	-40 to 85	TL494IN

(1) **Status:** For more details on status, see our product life cycle.

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the TI RoHS Statement for additional information and value definition.

(4) Lead finish/Ball material: Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) MSL rating/Peak reflow: The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) Part marking: There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

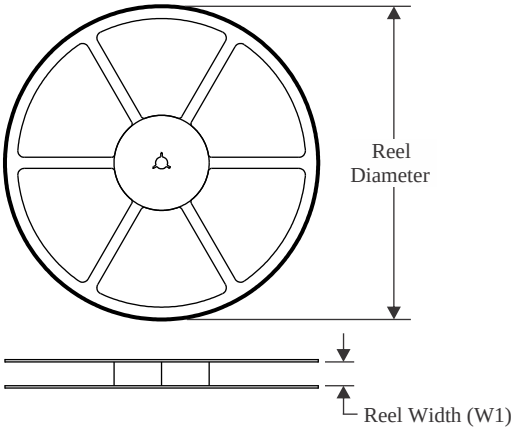
Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

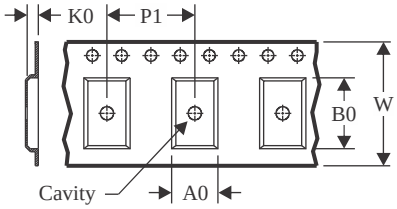
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

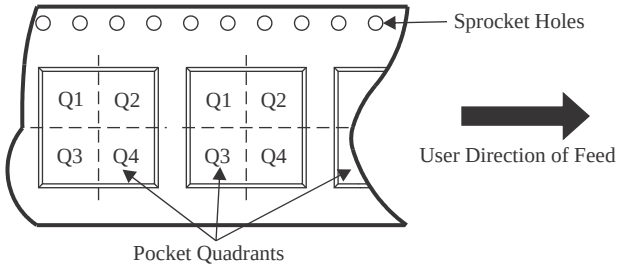


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

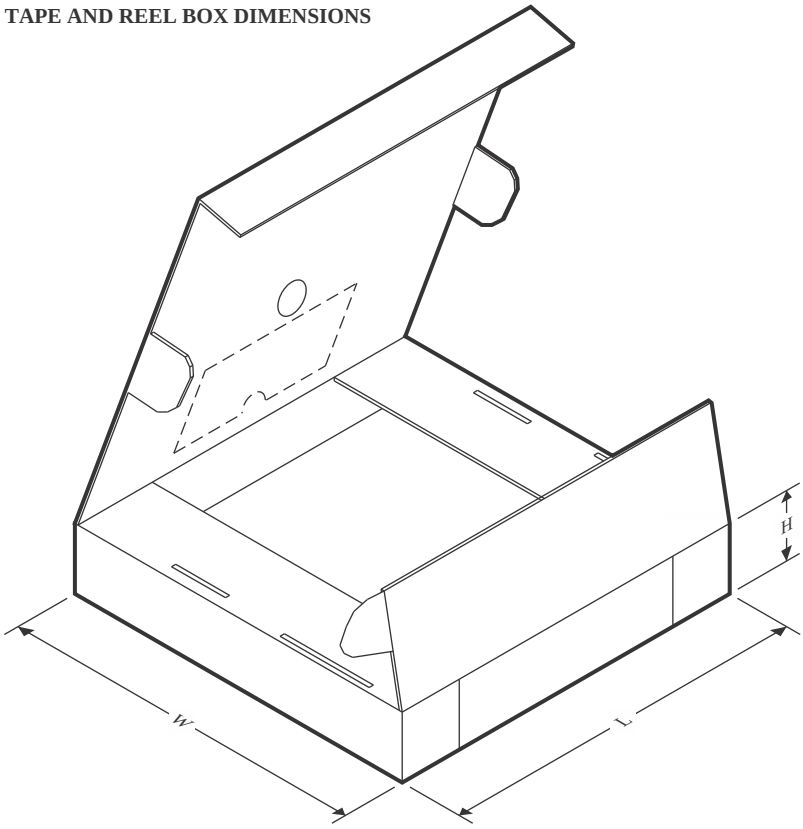
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
TL494CDR	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1
TL494CNSR	SOP	NS	16	2000	330.0	16.4	8.45	10.55	2.5	12.0	16.2	Q1
TL494CPWR	TSSOP	PW	16	2000	330.0	12.4	6.9	5.6	1.6	8.0	12.0	Q1
TL494IDR	SOIC	D	16	2500	330.0	16.4	6.5	10.3	2.1	8.0	16.0	Q1

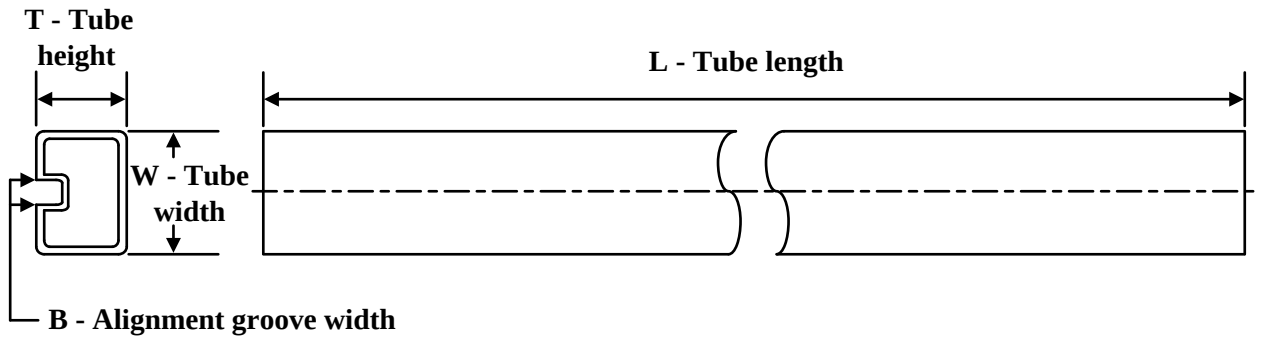
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
TL494CDR	SOIC	D	16	2500	353.0	353.0	32.0
TL494CNSR	SOP	NS	16	2000	353.0	353.0	32.0
TL494CPWR	TSSOP	PW	16	2000	353.0	353.0	32.0
TL494IDR	SOIC	D	16	2500	353.0	353.0	32.0

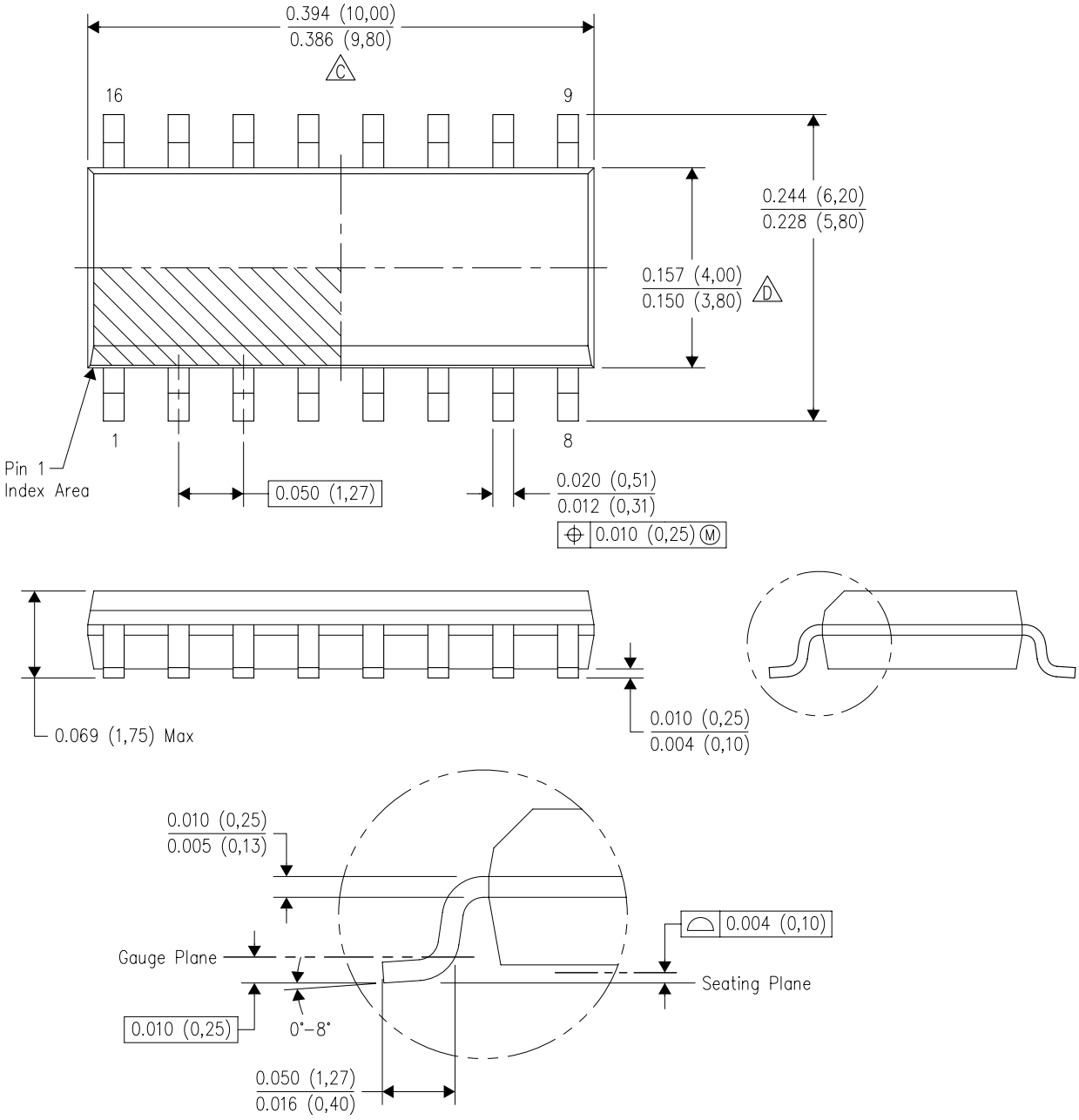
TUBE



*All dimensions are nominal

Device	Package Name	Package Type	Pins	SPQ	L (mm)	W (mm)	T (µm)	B (mm)
TL494CN	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494CN	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494CN.A	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494CN.A	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494CNE4	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494CNE4	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494IN	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494IN	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494IN.A	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494IN.A	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494INE4	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32
TL494INE4	N	PDIP	16	25	506	13.97	11230	4.32

D (R–PDSO–G16) PLASTIC SMALL OUTLINE



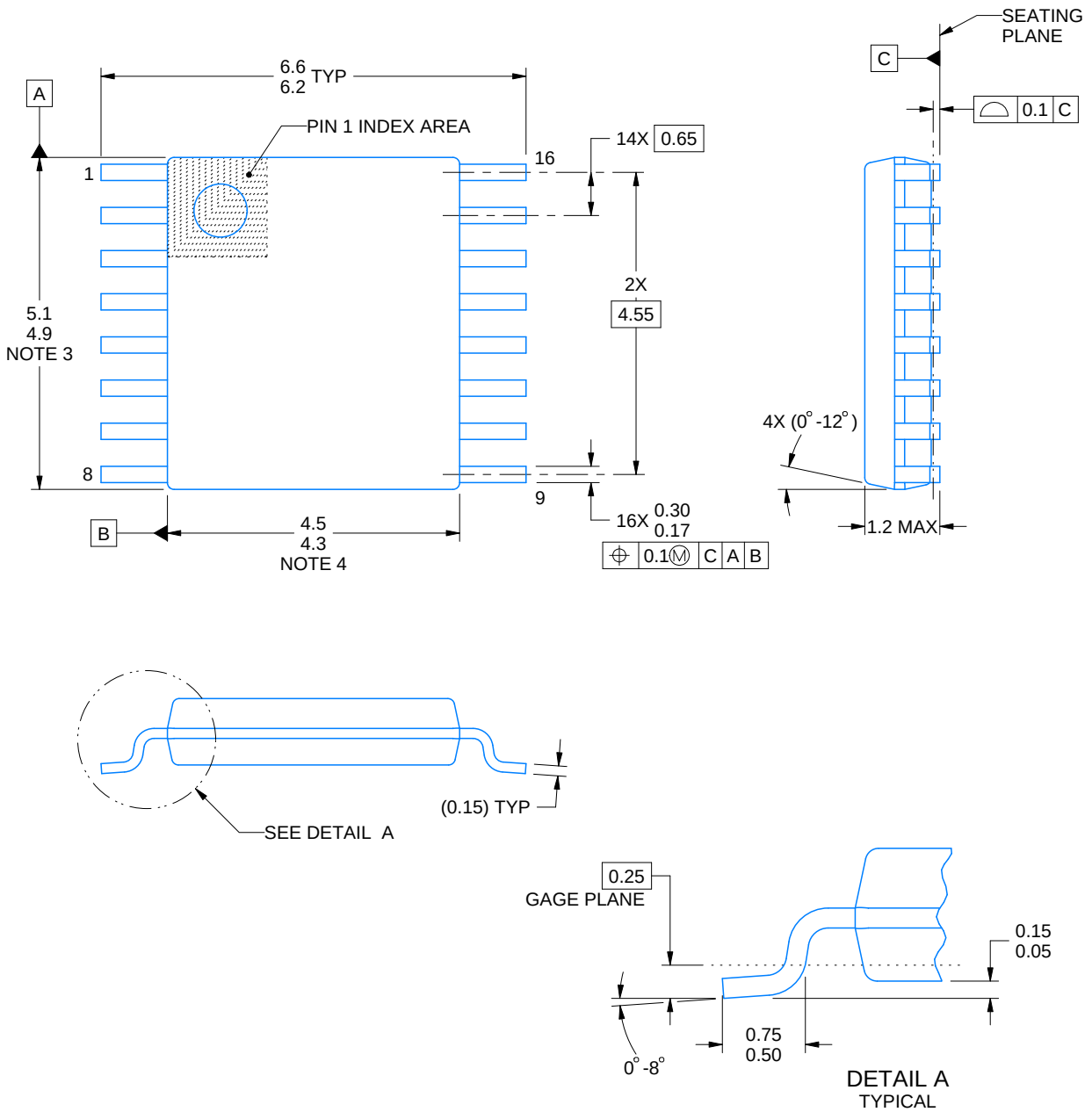
NOTES:
A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.006 (0,15) each side.
D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.017 (0,43) each side.
E. Reference JEDEC MS–012 variation AC.

PACKAGE OUTLINE

PW0016A

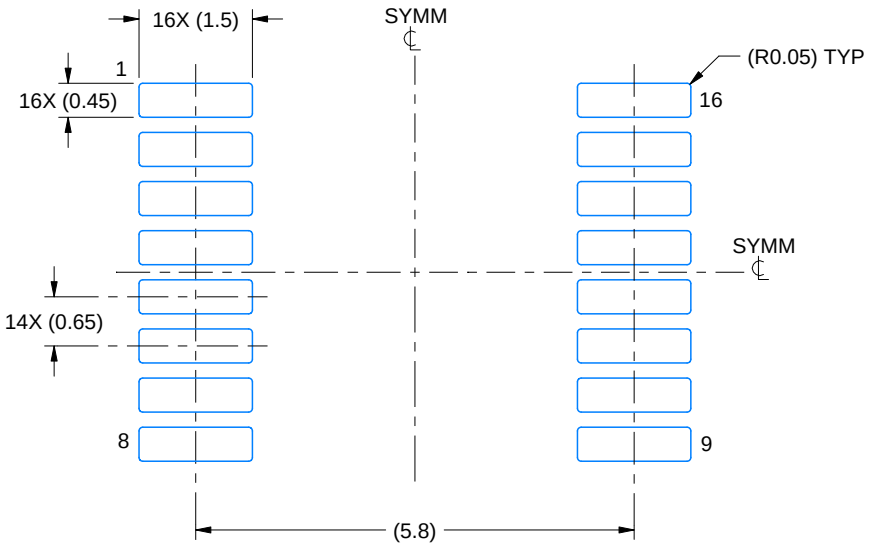
TSSOP - 1.2 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm per side.
5. Reference JEDEC registration MO-153.



LAND PATTERN EXAMPLE
EXPOSED METAL SHOWN
SCALE: 10X

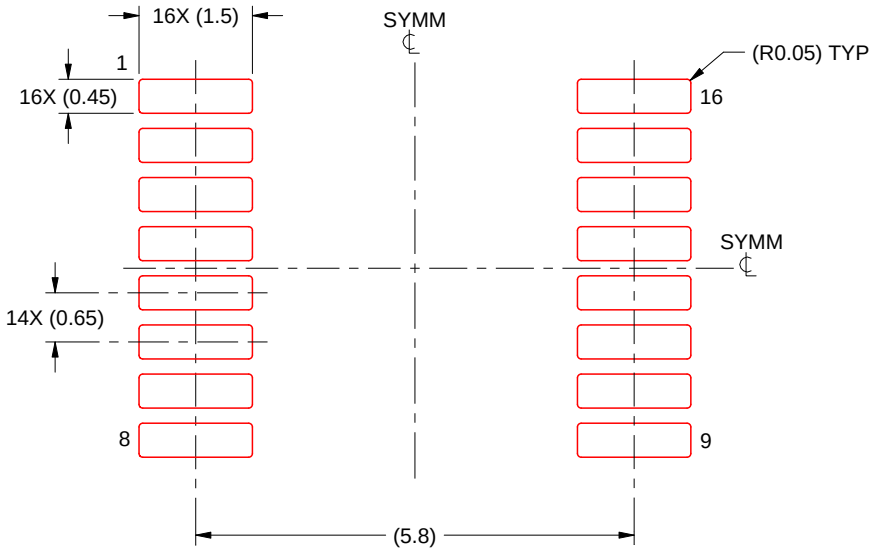


SOLDER MASK DETAILS

4220204/B 12/2023

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE: 10X

4220204/B 12/2023

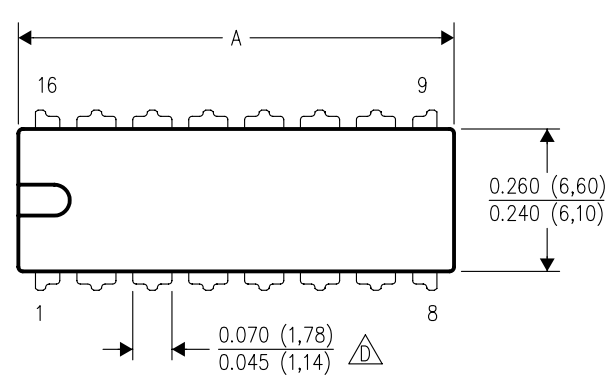
NOTES: (continued)

8. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
9. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

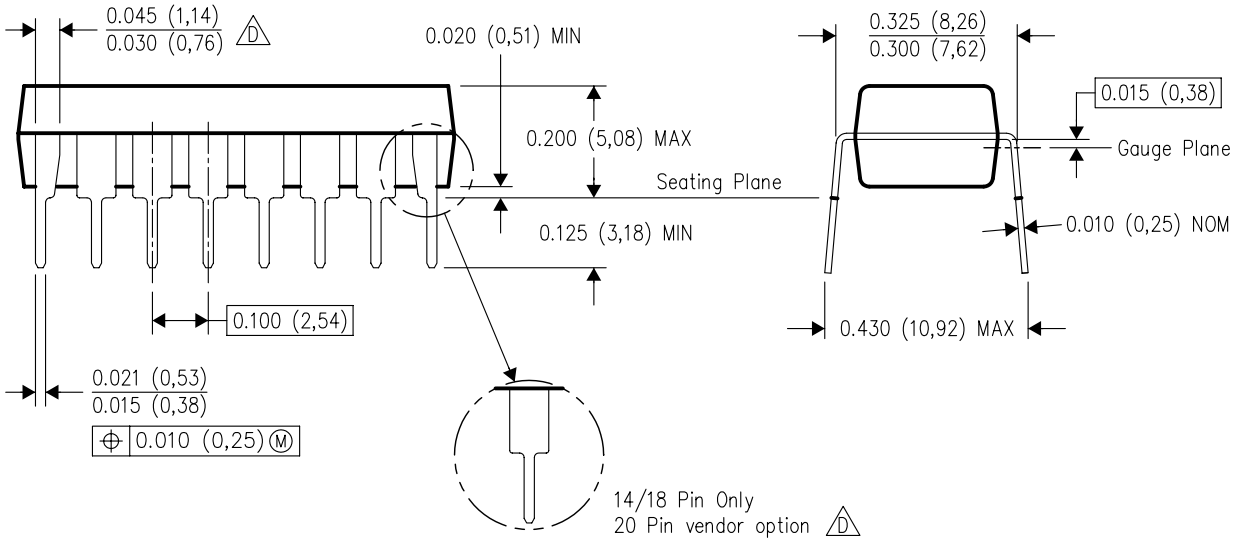
N (R–PDIP–T**)

PLASTIC DUAL–IN–LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN

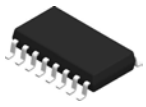


DIM \ PINS **	14	16	18	20
A MAX	0.775 (19,69)	0.775 (19,69)	0.920 (23,37)	1.060 (26,92)
A MIN	0.745 (18,92)	0.745 (18,92)	0.850 (21,59)	0.940 (23,88)
MS–001 VARIATION (C)	AA	BB	AC	AD



4040049/E 12/2002

NOTES:
A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Falls within JEDEC MS–001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
D. The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

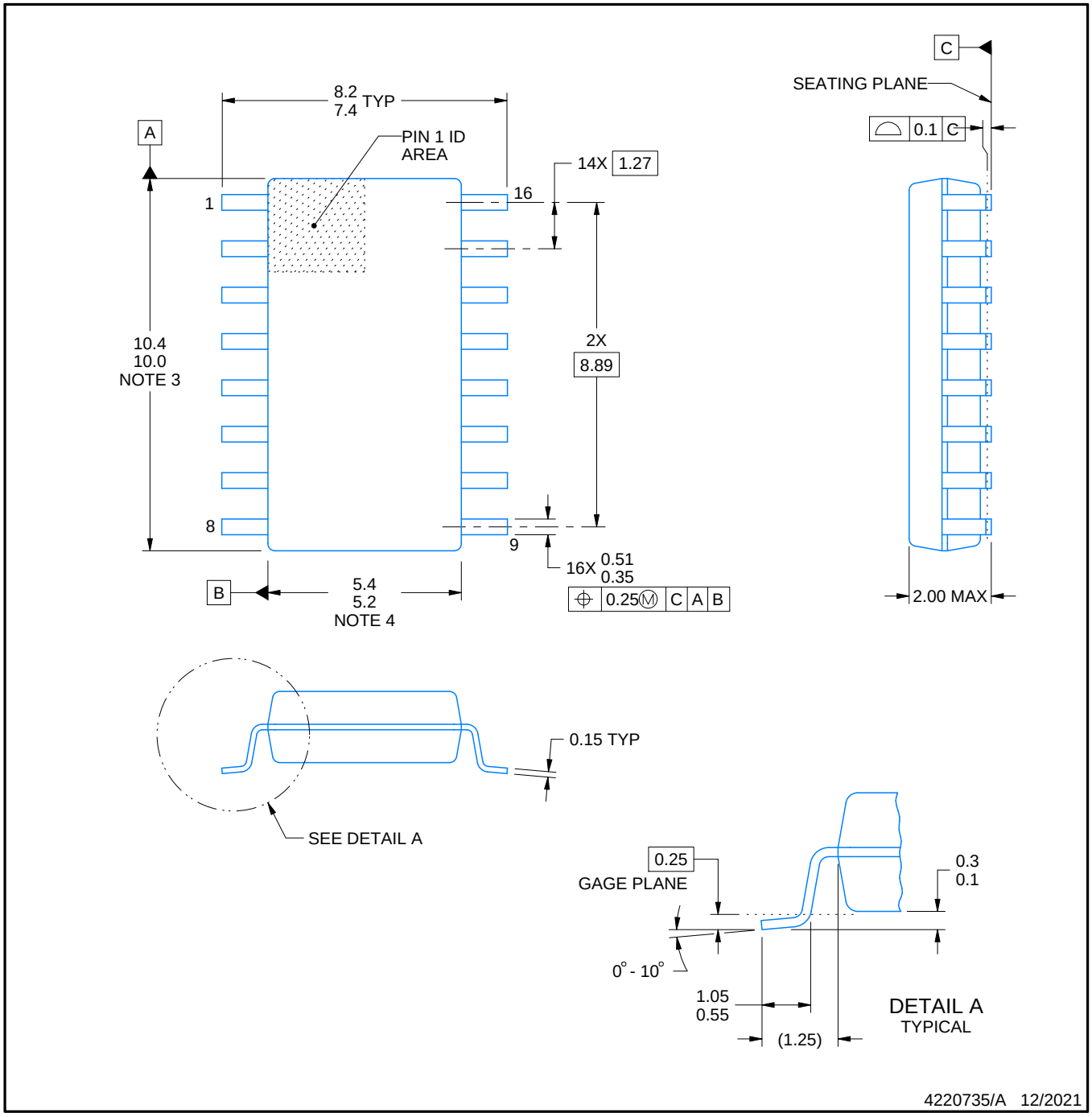


PACKAGE OUTLINE

NS0016A

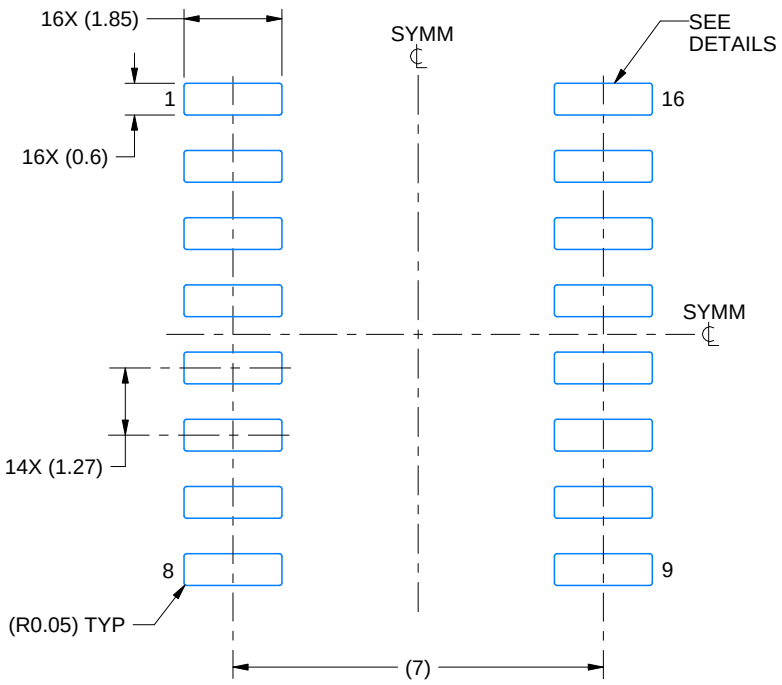
SOP - 2.00 mm max height

SOP

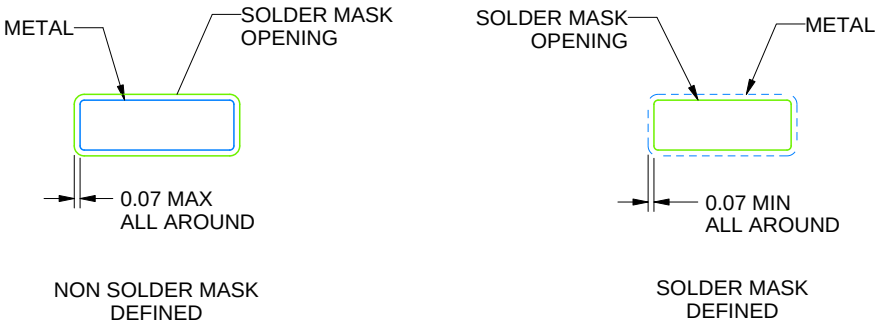


NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm, per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm, per side.



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE:7X



NON SOLDER MASK
DEFINED

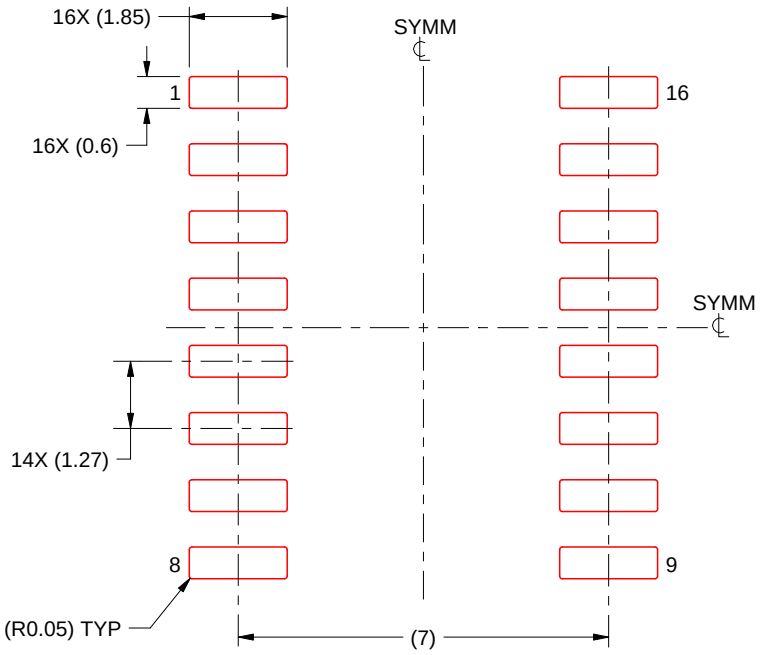
SOLDER MASK
DEFINED

SOLDER MASK DETAILS

4220735/A 12/2021

NOTES: (continued)

5. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
6. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.



SOLDER PASTE EXAMPLE
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL
SCALE:7X

4220735/A 12/2021

NOTES: (continued)

7. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
8. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 销售条款)、TI 通用质量指南 或 ti.com 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。 除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月