

CLM331精密电压-频率转换器

特点

- 确保最大线性度0.01%
- 改善现有电压-频率转换应用中的性能
- 单独或单电源操作
- 采用5V单电源供电
- 脉冲输出与所有逻辑形式兼容
- 优良的温度稳定性： $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ (最大值)
- 低功耗：5V时典型值为15mW
- 宽动态范围，在10kHz满量程频率下最小100dB
- 满量程频率范围：1Hz至100kHz
- 低成本

应用

- 电压-频率的转换
- 频率-电压的转换
- 远程传感监控
- 测速仪

说明

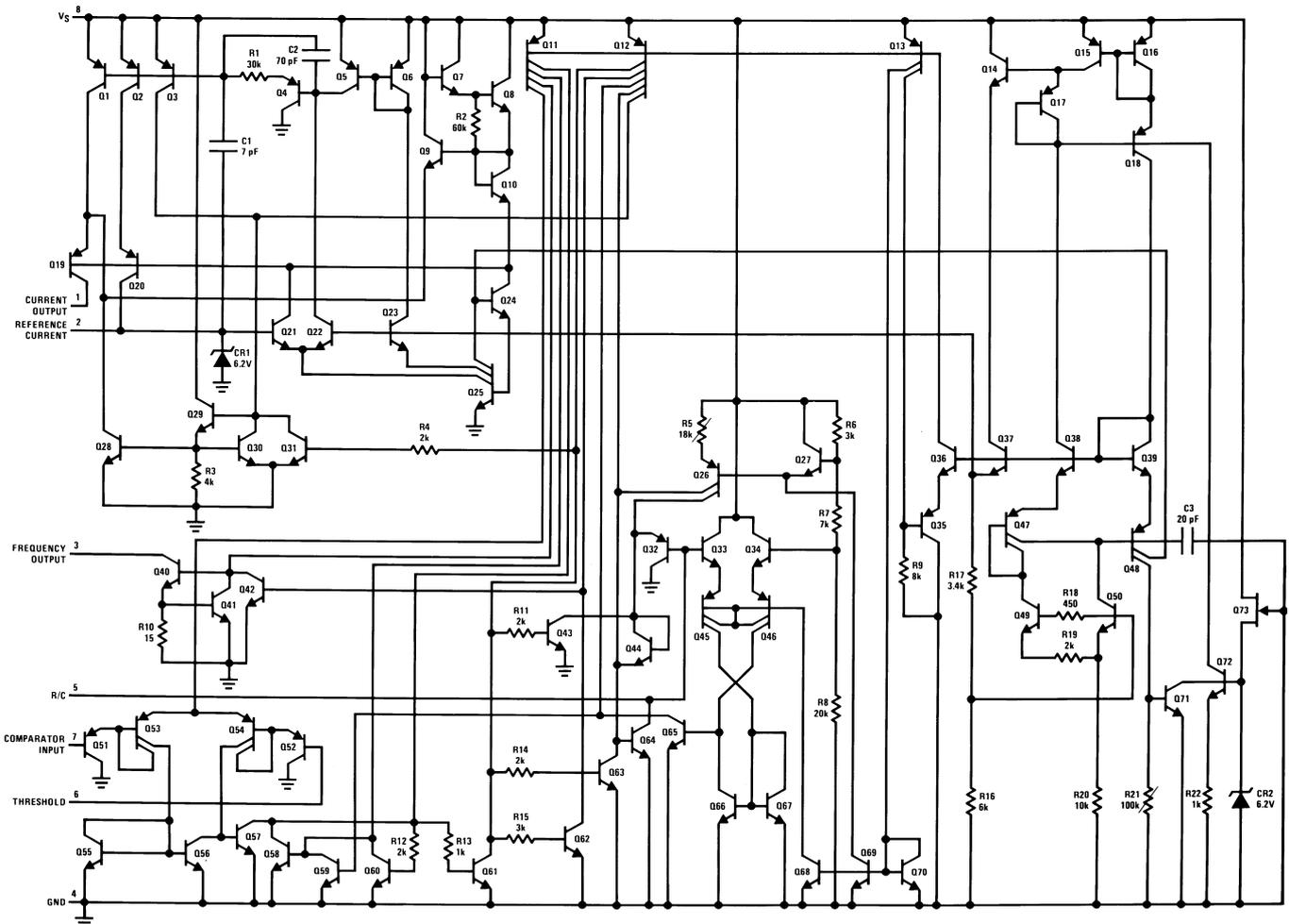
电压-频率转换器件CLM331系列产品非常适合用于简单的低成本模数转换电路，高精度频率-电压转换器，长久集成，线性频率调制或解调以及许多其他功能。当用作电压-频率转换器时，输出是脉冲序列，其频率与施加的输入电压成正比。因此，它拥有电压-频率转换技术的所有固有优势，并且易于应用在所有标准电压-频率转换器应用中。

器件信息⁽¹⁾

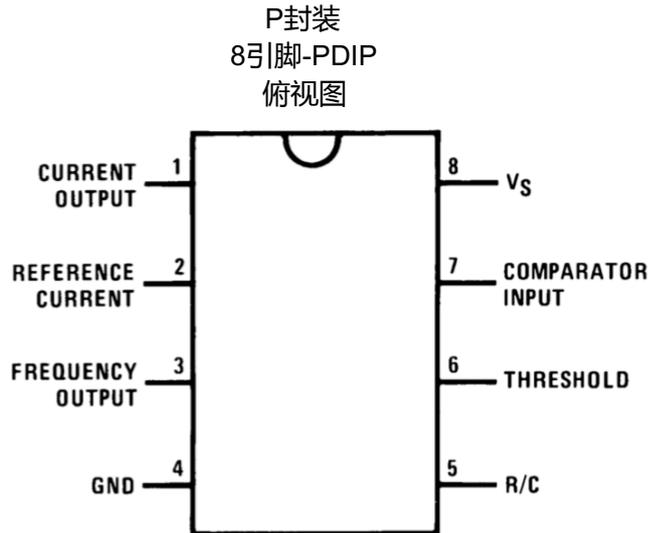
芯片名称	封装	尺寸
CLM231	PDIP(8)	9.81mm × 6.35 mm
CLM331		

(1) 对于所有可用的封装，请参阅数据表末尾的可订购附录。

原理图



引脚配置和功能



引脚		输入/输出	描述
名称	序号		
IOUT	1	O	电流输出。
IREF	2	I	参考电流。
FOUT	3	O	频率输出。该输出为集电极开路输出，需要上拉电阻。
GND	4	G	地。
RC	5	I	R-C滤波电路输入。
THRESH	6	I	阈值输入。
COMPIN	7	I	比较器电路输入。
VS	8	P	电源电压。

规格

1. 绝对最大额定值⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

参数	最小值	最大值	单位
供电电压 (V_S)		40	V
输出对地短路		连续	
输出对 V_{CC} 短路		连续	
输入电压	-0.2	+ V_S	V
铅温度 (焊接, 10s)	PDIP	260	°C

(1) 超出参数的绝对最大额定值可能会导致设备永久损坏。这些仅是额定参数，并不意味着器件在这些或任何其他条件 (超出“推荐工作条件”中指示的条件) 下能运行。长时间处于绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。

(2) 除非另有说明，否则所有电压均相对于GND = 0V进行测量。

(3) 如果需要军事/航空航天专用器件，请联系TI销售办公室/分销商以了解器件的可用性和技术规范。

2. ESD额定值

参数	值	单位
$V_{(ESD)}$ 静电放电	人体模型 (Human body model, HBM) ，符合ANSI / ESDA / JEDEC JS-001 ⁽¹⁾⁽²⁾ 。	±500 V

(1) JEDEC文件中的JEP155指出500-V HBM对于标准ESD制造是安全的。

(2) 人体模型，通过1.5kΩ电阻放电100 pF。

3. 推荐工作条件

		最小值	最大值	单位
工作环境温度	CLM231, CLM231A	-25	85	°C
	CLM231, CLM231A	0	70	°C
供电电压, $V_S^{(1)}$		4	40	V

(1) 除非另有说明, 否则所有电压均相对于GND = 0 V进行测量。

4. 散热信息

热度量 ⁽¹⁾		LM567C		单位
		P(PDIP)		
		8引脚		
$R_{\theta JA}$	结到环境的热阻。	100		°C/W

(1) 有关旧的和新热量指标的更多信息, 请参见《半导体和IC封装热量指标》应用报告SPRA953。

5. 电气特性

除非另有说明, 否则所有规格均适用于图16的电路, 其中 $4.0V \leq V_S \leq 40V$, $T_A = 25^\circ C$ 。

参数	测试条件	LM567			单位	
		最小值	典型值	最大值		
VFC非线性 ⁽¹⁾	$4.5V \leq V \leq 20V$	± 0.003		± 0.01	% Full-Scale	
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.006		± 0.02	% Full-Scale	
图14电路中的VFC非线性	$V_S = 15V, f = 10Hz \sim 11kHz$	± 0.024		± 0.14	% Full-Scale	
转换精度比例因子 (增益)	CLM231, CLM231A	$V_{IN} = -10V, R_S = 14k\Omega$	0.95	1	1.05	kHz/V
	CLM331, CLM331A		0.9	1	1.1	kHz/V
增益温度稳定性	CLM331	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}, 4.5V \leq V \leq 20V$	± 30		± 150	ppm/°C
	CLM331A		± 20		± 50	ppm/°C
的增益变化 (随 V_S)	$4.5V \leq V \leq 10V$		0.01		0.1	%/V
	$10V \leq V \leq 40V$		0.006		0.06	%/V
额定满量程频率	$V_{IN} = -10V$	10.0				%/V
增益稳定性与时间的关系 (1000小时)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		± 0.02			% Full-Scale
超出范围 (超出满量程) 频率	$V_{IN} = -11V$	10%				
输入比较器						
失调电压			± 3		± 10	mV
CLM231/CLM331	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		± 4		± 14	mV
CLM231A/CLM331A	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$		± 3		± 10	mV
偏置电流			-80		-300	nA
失调电流			± 8		± 100	nA
共模范围	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	-0.2			$V_{CC} - 2$	V
定时器						
定时器阈值电压, 引脚5		$0.6 \times V_S$	$0.667 \times V_S$	$0.7 \times V_S$		
输入偏置电流, 引脚5	$V_S = 15V$					
所有器件	$0V \leq V_{PIN5} \leq 9.9V$		± 10		± 100	nA
CLM231/CLM331	$V_{PIN5} = 10V$		200		1000	nA
CLM231A/CLM331A	$V_{PIN5} = 10V$		200		500	nA
$V_{SAT PIN5}$ (复位)	$I = 5mA$		0.22		0.5	V

(1) 非线性被定义为当在1Hz至11kHz的频率范围内以10Hz和10kHz的频率对零误差进行微调时， f_{OUT} 与 $V_{IN} \times (10\text{kHz} / -10V_{DC})$ 的偏差。对于定时电容 C_T ，使用NPO陶瓷，Teflon®或聚苯乙烯。

电气特性 (续)

除非另有说明，否则所有规格均适用于图16的电路，其中 $4.0V \leq V_S \leq 40V$ ， $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

参数		测试条件	LM567			单位
			最小值	典型值	最大值	
电流源 (引脚1)						
输出电流	CLM231, CLM231A	$R_S = 14\text{ k}\Omega$, $V_{PIN1} = 0$	126	135	144	μA
	CLM331, CLM331A		116	136	156	μA
随电压变化		$0V \leq V_{PIN1} \leq 10V$		0.2	1	μA
电流源关态时的漏电流	CLM231, CLM231A, CLM331, CLM331A			0.02	10	nA
	所有器件	$T_A = T_{MAX}$		2	50	nA
电流工作范围 (典型值)			(10 ~ 500)			μA
参考电压 (引脚2)						
CLM231, CLM231A			1.76	1.89	2.02	V_{DC}
CLM331, CLM331A			1.7	1.89	2.08	V_{DC}
稳定性与温度关系			± 60			ppm/ $^\circ\text{C}$
稳定性与时间的关系, 1000小时			$\pm 0.1\%$			
逻辑输出 (引脚3)						
V_{SAT}	$I = 5\text{mA}$			0.15	0.5	V
	$I = 3.2\text{mA}$ (2 TTL Loads) $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$			0.1	0.4	V
关态时漏电流				± 0.05	1	μA
供电电流						
CLM231, CLM231A	$V_S = 5V$		2	3	4	mA
	$V_S = 40V$		2.56	4	6	mA
CLM331, CLM331A	$V_S = 5V$		1.5	3	6	mA
	$V_S = 40V$		2	4	8	mA

6. 耗散等级

	值	单位
25 $^\circ\text{C}$ 时封装的耗散 ⁽¹⁾	1.25	W

(1) 该器件的绝对最大结温 (T_{Jmax}) 为150 $^\circ\text{C}$ 。最大允许功耗由 T_{Jmax} ，结至周围环境的热阻 (θ_{JA}) 和环境温度 T_A 决定，可以使用公式 $P_{Dmax} = (T_{Jmax} - T_A) / \theta_{JA}$ 进行计算。当器件在严重故障条件下运行时 (例如，当输入或输出引脚以超过电源电压值的电压被驱动或电源极性接反时)，才达到最大功耗。显然，应始终避免这种情况。

7. 典型特征

(除非另有说明, 否则所有电气特性均适用于图16的电路。)

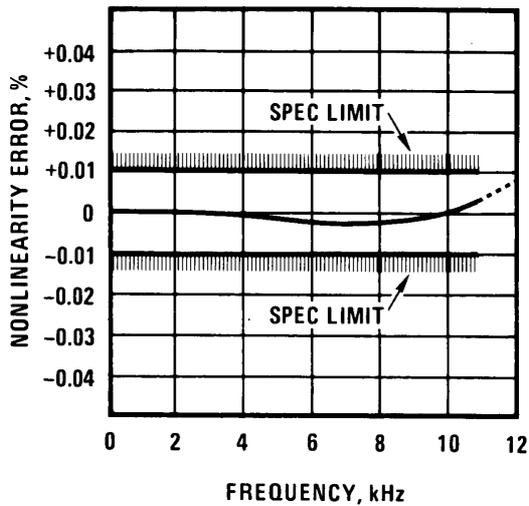


图1精密电压-频率转换器的非线性误差 (图16)

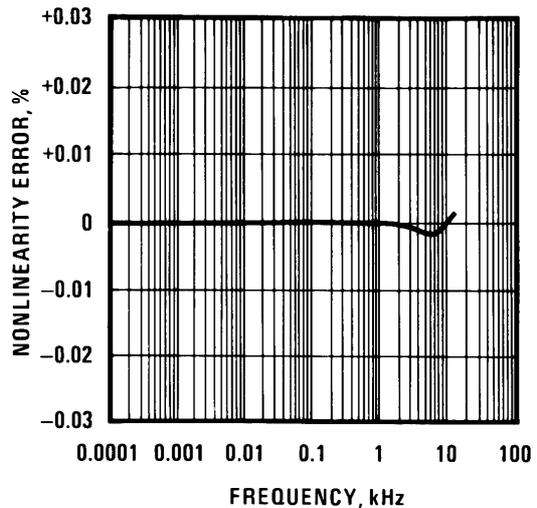


图2 非线性误差

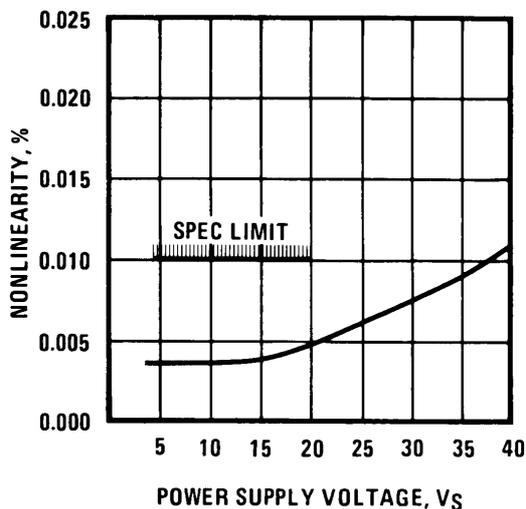


图3 非线性误差与电源电压的关系

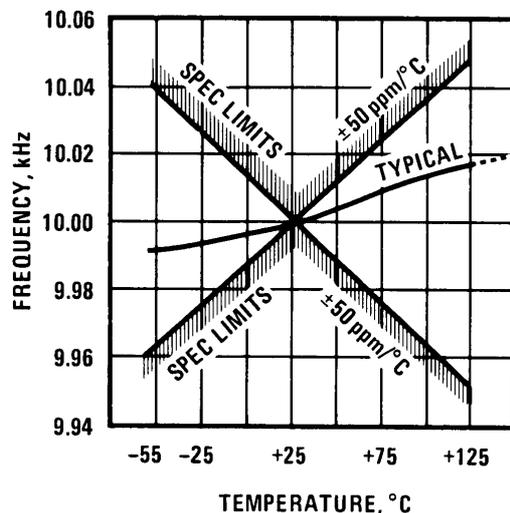


图4 频率与温度的关系

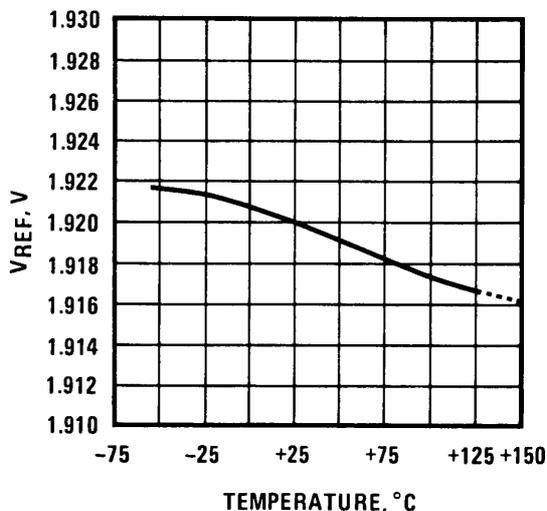


图5 V_{REF} 与温度的关系

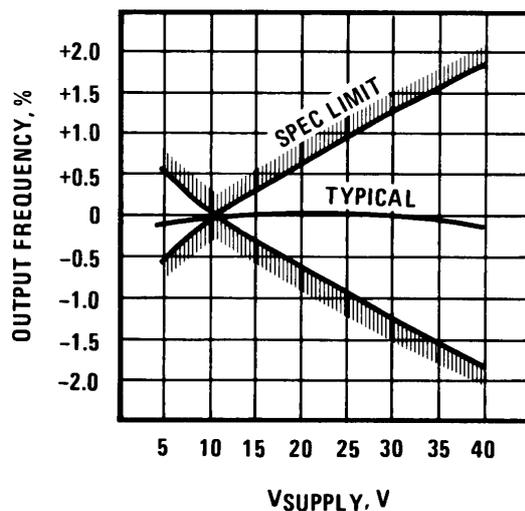


图6 输出频率与 V_{SUPPLY} 的关系

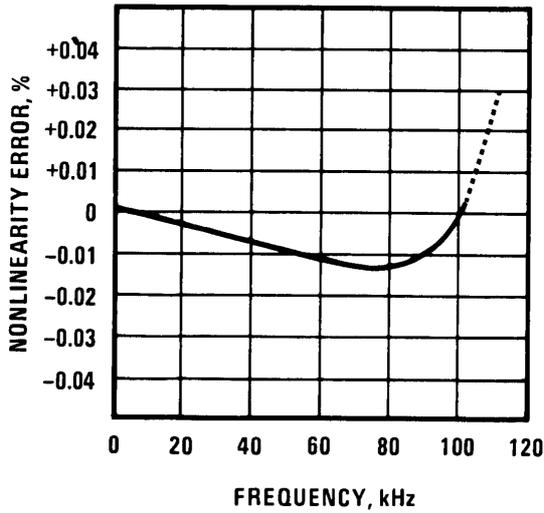


图7 100 kHz非线性误差 (图17)

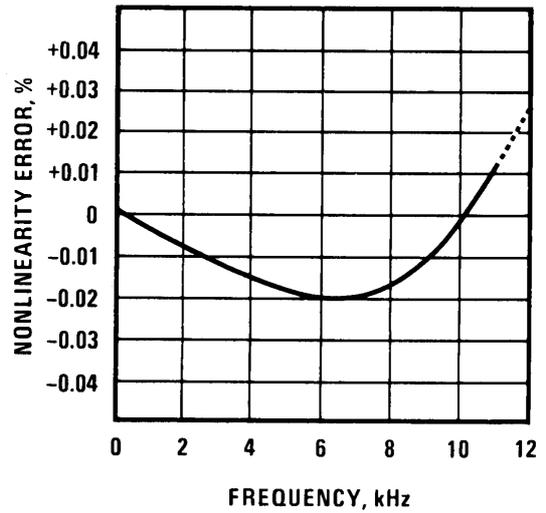


图8非线性误差 (图14)

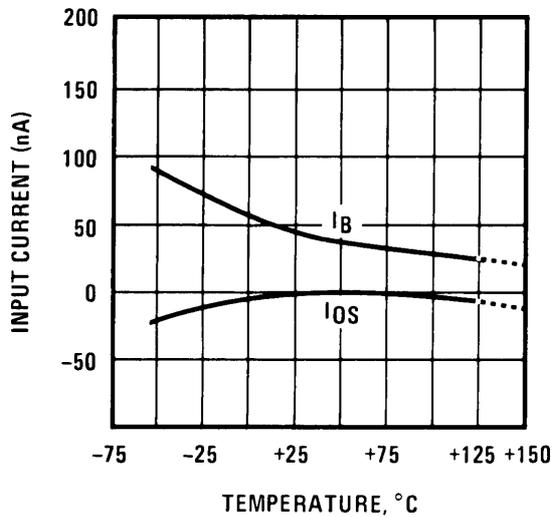


图9 输入电流 (引脚6, 7) 与温度的关系

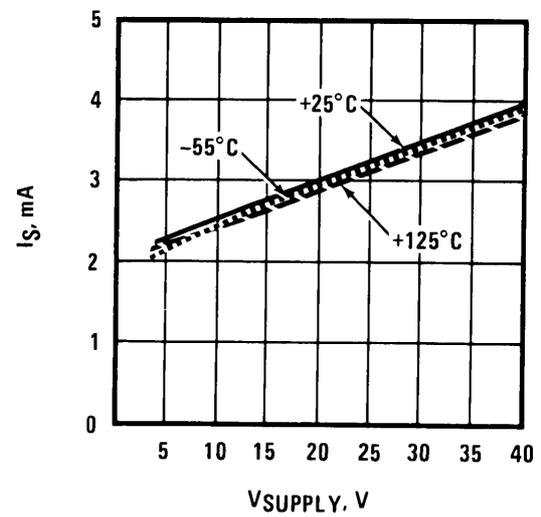


图10功耗与V_{SUPPLY}的关系

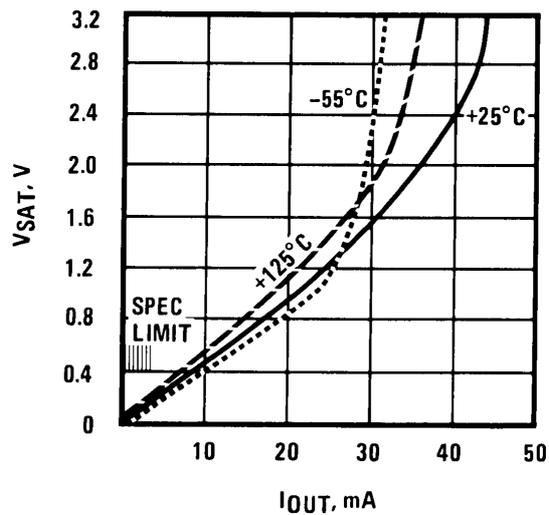


图11输出饱和电压与 I_{OUT} 的关系 (引脚3)

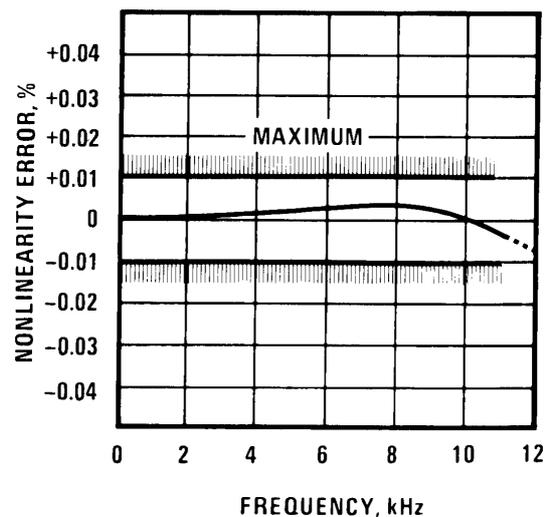


图12精密频率-电压转换器的非线性误差 (图19)

详细说明

1. 概述

1.1 操作细节，功能框图

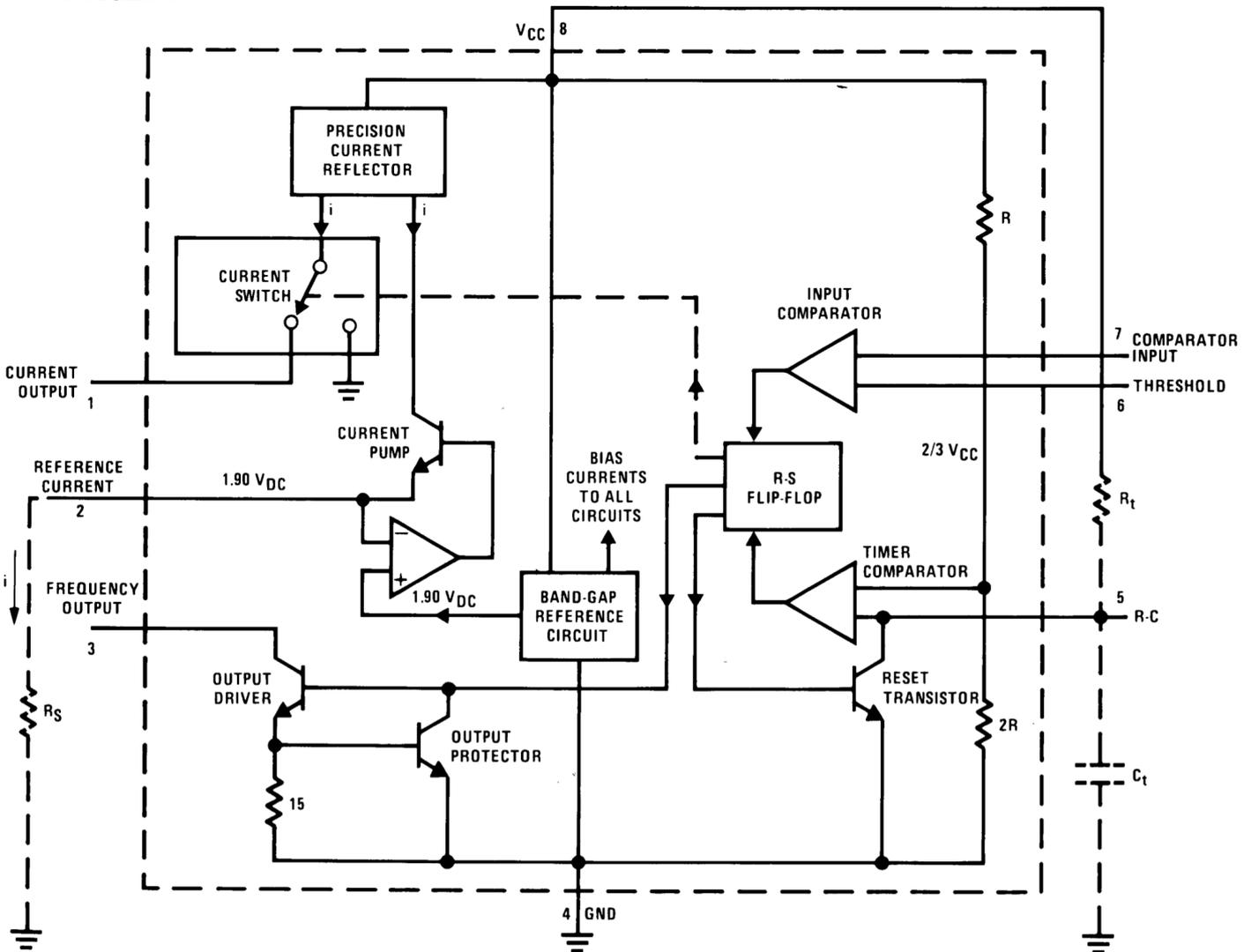
功能框图显示了可提供稳定 $1.9-V_{DC}$ 输出的带隙基准电路。 V_S 在 $3.9V$ 至 $40V$ 的范围内时，这个 $1.9V_{DC}$ 可以得到很好的调节。其温度系数变化小且数值低，通常在 $100^{\circ}C$ 的温度变化范围内变化小于 $1/2\%$ 。

电流泵电路使得引脚2上的电压为 $1.9V$ ，并导致电流为 $i = 1.90V / R_S$ 。因此， $R_S = 14k\Omega$ 时， $i = 135\mu A$ 。精密电流反射器向电流开关提供了等于 i 的值的电流。电流开关根据R-S触发器的状态将电流切换到引脚1或地。

定时功能包括一个R-S触发器和一个连接到外部 $R_T C_T$ 网络的定时比较器。当输入比较器在引脚7上检测到高于引脚6的电压时，它将触发R-S触发器，从而将电流开关和输出驱动器晶体管导通。当引脚5的电压升至 V_{CC} 的三分之二时，定时比较器使R-S触发器复位。然后，复位晶体管导通，电流开关截止。

但是，当引脚5超过 V_{CC} 的三分之二时，若输入比较器仍检测到引脚7的电压高于引脚6上的电压，则触发器将不会复位，并且引脚1上有电流继续流动，试图使引脚6上的电压高于引脚7。此条件通常适用于启动工作条件或信号输入端出现过载电压的情况。在这种过载期间，输出频率将为0。一旦信号恢复到工作范围，输出频率将恢复。

2. 功能框图



3. 功能描述

CLM331在4V至40V的宽电压范围内工作。

对于10 μ A至500 μ A之间的所有电流，均可将引脚2的电压调节为1.90V_{DC}。它可以用作其他器件的参考电压，但要确保不要出现分流，否则可能会降低转换器的精度。

4. 器件功能模式

输出驱动晶体管的作用是使引脚3导通，导通电阻约为50 Ω 。如果发生过压的情况，则输出电流会自动限制为小于50 mA的电流。当引脚5上的电压超过VCC的2/3时，如果引脚7上的电压高于引脚6，则CLM331内部触发器将不会复位，引脚1上的电流将继续流动，试图使引脚6上的电压高于引脚7。此工作条件通常适用于启动时的工作条件或信号输入端出现过电压的情况。在这种过载期间，输出频率将为0。一旦信号恢复到工作范围，输出频率将恢复。

应用与实现

1. 应用信息

1.1 简化的电压-频率转换器

通过基本的电压-频率转换器的工作循环（图13），可以理解这些模块的工作，图13显示了CLM331的简化框图以及与其相连的各种电阻和电容。

电压比较器将引脚7的正输入电压 V_1 与引脚6的电压 V_x 进行比较。如果 V_1 较大，比较器将触发单步定时器。定时器的输出将在周期 $t = 1.1 \times R_t C_t$ 期间将频率输出晶体管和开关电流源都导通。在此期间，电流 i 将从开关电流源流出，并向电容 C_L 提供 $Q = i \times t$ 的固定电荷。这会将 V_x 充电至高于 V_1 的电压。在循环结束时，电流 i 会使频率输出晶体管和开关电流源都闭合，定时器自行复位。

当没有电流从引脚1流出时，电容 C_L 将通过 R_L 放电，直到 V_x 降至 V_1 的电平为止。然后，比较器将触发定时器并开始另一个循环。

流入 C_L 的电流为 $I_{AVE} = i \times (1.1 \times R_t C_t) \times f$ ，流出 C_L 的电流为 $V_x / R_L \approx V_{IN} / R_L$ 。如果 V_{IN} 加倍，则频率将增大以保持输入输出电流平衡。即使是简单的电压-频率转换器，也可以在很宽的频率范围内提供与其输入电压成正比的频率。

1.2 工作原理

CLM331是单片电路，可用于高精度和通用电压-频率转换器或频率-电压转换器。CLM331的简化框图如图13所示，它由开关电流源，输入比较器和单步定时器组成。

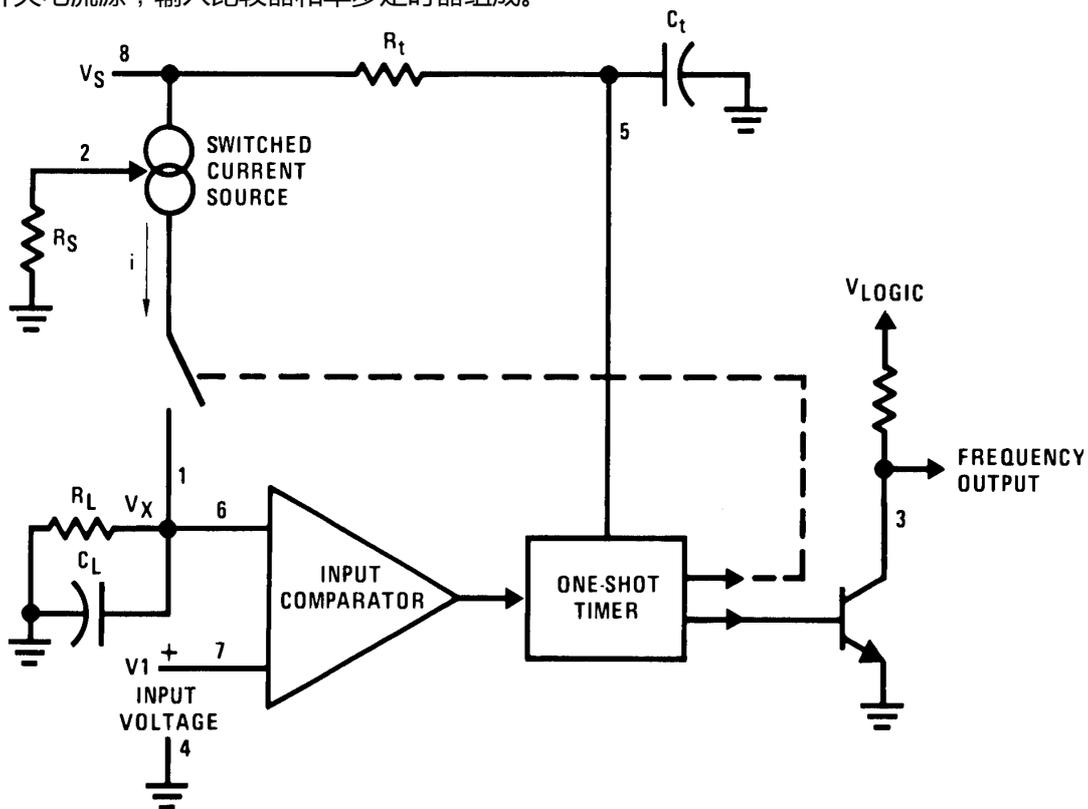
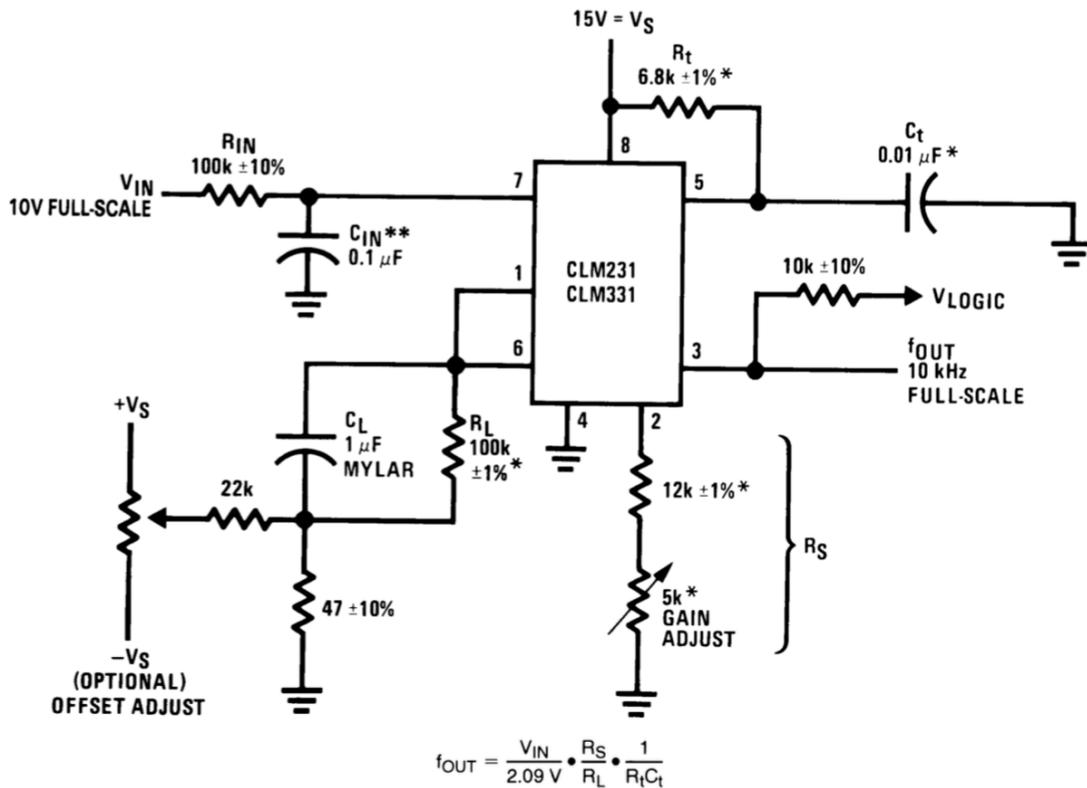


图13 独立式电压-频率转换器和外部器件的简化框图

2. 典型应用

2.1 基本电压-频率转换器

图14所示的电压-频率转换器包括图13的所基本电路，以及一些用于提高性能的元器件。



*请使用低温系数的稳定元件。请参阅应用程序信息。

** 0.1 F或1 F，请参见典型应用。

图14 具有±0.03%典型线性度的简单独立式电压-频率转换器 (f = 10 Hz至11 kHz)

2.1.1 设计要求

对于此示例，系统要求在10 Hz至4 kHz的输出频率范围内，输入电压范围为25mV至12.5V的情况下，线性度为0.05%。可用电源电压为15.0V。

2.1.2 详细设计过程

在引脚7与地之间增加了一个电容 C_{IN} ，用作 V_{IN} 的滤波器，对于该应用，使用0.1F电容比较合适。在大多数情况下，电容值为0.01 μ F至0.1 μ F；但是，如果需要更好的滤波，则需使用1 μ F的电容。当引脚6和引脚7上的RC时间常数匹配时， V_{IN} 上的电压阶跃将导致 f_{OUT} 的阶跃变化。如果 C_{IN} 远小于 C_L ，则 V_{IN} 处的阶跃可能会导致 f_{OUT} 暂时停止。

接下来，可以通过将 R_{IN} 设置为100k Ω 来匹配 R_L ，以消除电压比较器的偏置电流。这将有助于频率偏移最小化。

为了获得最佳结果，所有器件应为低温系数的稳定元件，例如薄膜电阻。电容的介电吸收率应低，根据所需的温度特性，最适合使用NPO陶瓷，聚苯乙烯，特氟隆或聚丙烯。

引脚2上的电阻 R_S 由12k Ω 固定电阻和5k Ω （最好是金属陶瓷）增益调节变阻器组成。调节的功能是微调CLM331的增益容差以及 R_t ， R_L 和 C_t 的容差。

典型应用 (续)

与 $1\mu\text{F}$ 电容 (C_L) 串联的一个 47Ω 电阻可提供滞后作用, 这有助于输入比较器提供出色的线性度。
 f_{OUT} 传递函数为:

$$f_{OUT} = \frac{V_{IN}}{2.09V} \cdot \frac{R_S}{R_L} \cdot \frac{1}{R_I C_I}$$

2.1.3 应用曲线

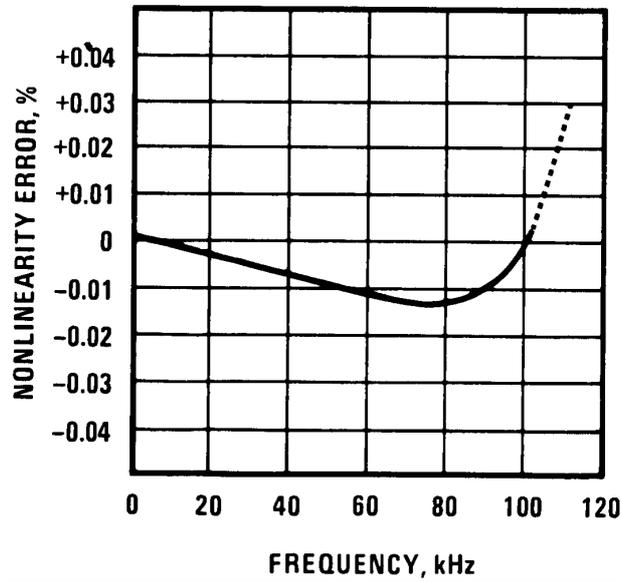


图15 输出非线性误差与频率的关系

典型应用 (续)

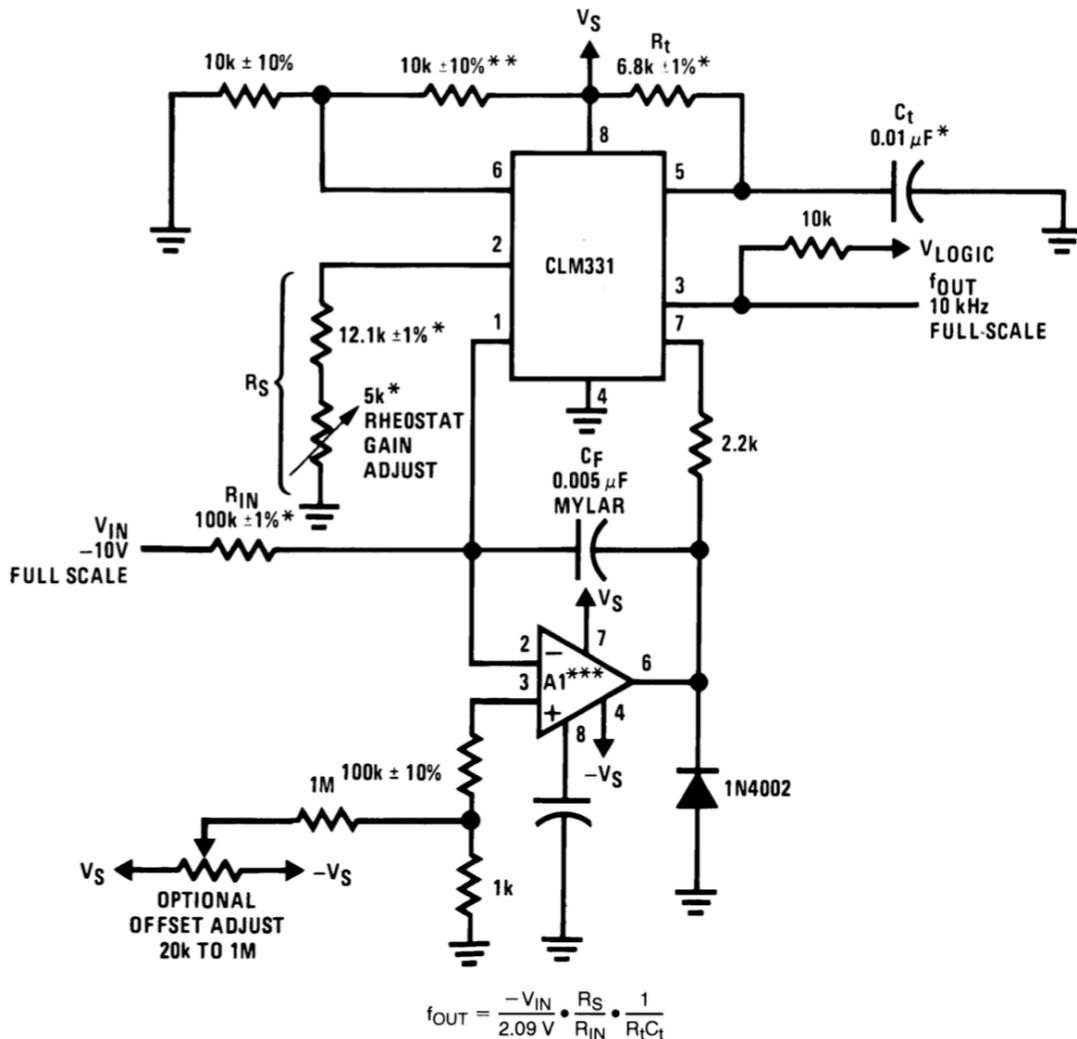
2.2 精密电压-频率转换器

在该电路中，积分电路模块是由运算放大器和反馈电容 C_F 来完成的。当积分电路的输出超过CLM331引脚6的阈值电平时，启动定时循环。

经过反馈电容输入到运算放大器输出引脚（引脚2）的平均电流为 $i \times (1.1 R_t C_t) \times f$ ，其与 $-V_{IN}/R_{IN}$ 相平衡。在该电路中，CLM331输入比较器的失调电压不会影响电压-频率转换器的偏移量、精度，因为它只是单独的电压-频率转换器；同样，CLM231/331输入比较器的失调电压也不会影响电压-频率转换器的偏置电流或失调电流。相反，运算放大器的失调电压和失调电流仅仅限制了小信号的准确转换。由于偏移电压远低于1mV且偏移电流远低于2nA的运算放大器成本较低，因此推荐使用该电路来为小信号提供最佳的精度。该电路还可以对输入信号的任何变化做出立即响应（单独电路不会），因此，只要可以测量两个输出脉冲的间隔，输出频率就可以准确地用 V_{IN} 表示。

在精密电压-频率转换器模式下，由于电流源（引脚1）始终处于地电位，并且电压不会随 V_{IN} 或 f_{OUT} 改变，因此可获得很好的线性度。（在单独的电压-频率转换器中，非线性的主要原因是引脚1上的输出阻抗，该阻抗导致电流随 V_{IN} 的变化而变化）。

图17与图16电路的工作方式相同，但是在高速运行方面需做出必要的更改。



*请使用低温度系数的稳定元件。

**对于 $V_S = 8V$ 至 $22V$ ，此电阻可以为 $5k\Omega$ 或 $10k\Omega$ ，但对于 $V_S = 4.5V$ 至 $8V$ ，此电阻必须为 $10k\Omega$ 。

***A1使用低失调电压和低失调电流的运算放大器：推荐类型LF411A。

图16 精密电压-频率转换器的标准测试电路和应用电路

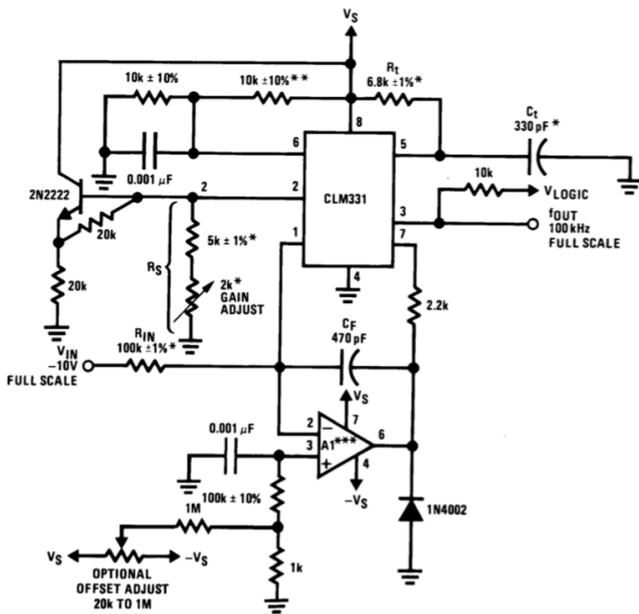
3. 系统示例

3.1 频率-电压转换器

在这些应用中，通过C-R网络对 f_{IN} 处的脉冲输入进行微分，并且引脚6处的输入比较器电路通过下降沿触发定时器电路。就像电压-频率转换器一样，从引脚1流出的平均电流为 $I_{AVERAGE} = i \times (1.1 R_i C_t) \times f$ 。

在图18的电路中，该电流在C-R网络中 ($R_L = 100k\Omega$ 和 $1\mu F$) 被滤波。纹波将小于10mV峰值，但响应将会很慢，时间常数为0.1秒，建立时间为0.7秒，精度为0.1%。

在精密电路中，运算放大器提供缓冲输出，并且还充当二级滤波器。对于高于1kHz的所有频率，纹波将小于5mV峰值，并且响应时间将比图18中的要快得多。但是，对于低于200Hz的输入频率，该电路的纹波将比图18大。设置滤波器时间常数可获得足够的响应时间和足够小的纹波，只需要研究折衷方案即可。从本质上讲，电压-频率转换器的响应速度很快，但频率电压响应速度不会很快。

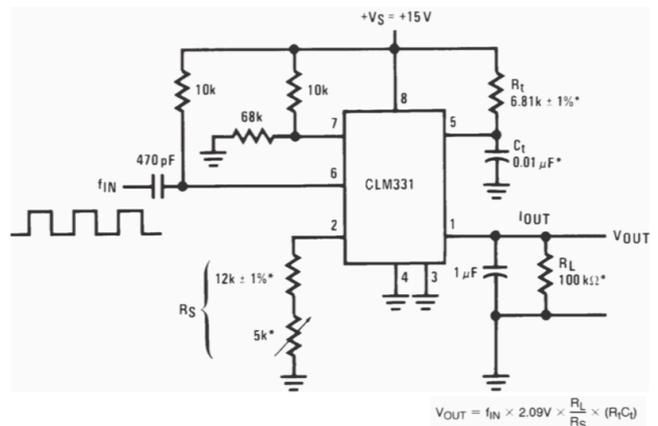


$$f_{OUT} = \frac{V_{IN}}{2.09V} \cdot \frac{R_S}{R_L} \cdot \frac{1}{R_i C_t}$$

*请使用低温度系数的稳定元件。

**对于 $V_S = 8V$ 至 $22V$ ，此电阻可以为 $5k\Omega$ 或 $10k\Omega$ ，但对于 $V_S = 4.5V$ 至 $8V$ ，此电阻必须为 $10k\Omega$ 。

图17.精密电压-频率转换器



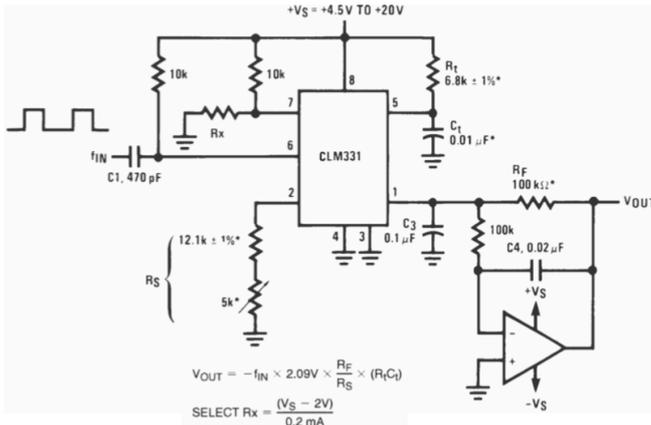
$$V_{OUT} = f_{IN} \times 2.09V \times \frac{R_L}{R_S} \times (R_i C_t)$$

$$V_{OUT} = f_{IN} \times f_{IN} \times \frac{R_L}{R_S} \times R_i C_t$$

*请使用低温度系数的稳定元件。

图18.简单的频率电压转换器

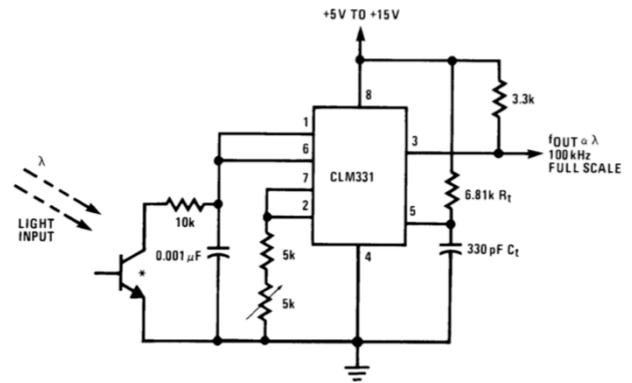
系统示例 (续)



具有10 kHz满量程的两极滤波器，非线性度最大值 ±0.01%

*使用温度系数低的稳定组件

图19.精密频率电压转换器



* L14F-1, L14G-1或L14H-1, 光电晶体管 (通用电气公司) 或类似器件。

图20.光强度变频器

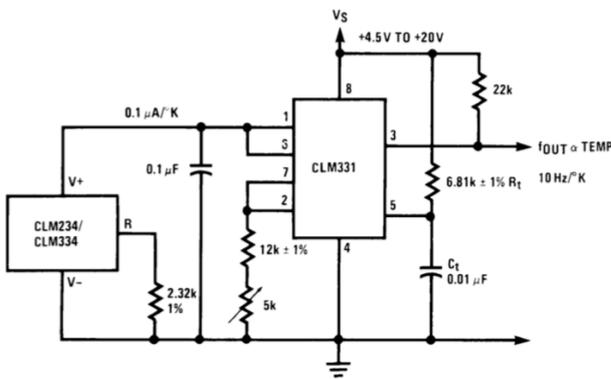


图21 温度-频率转换器

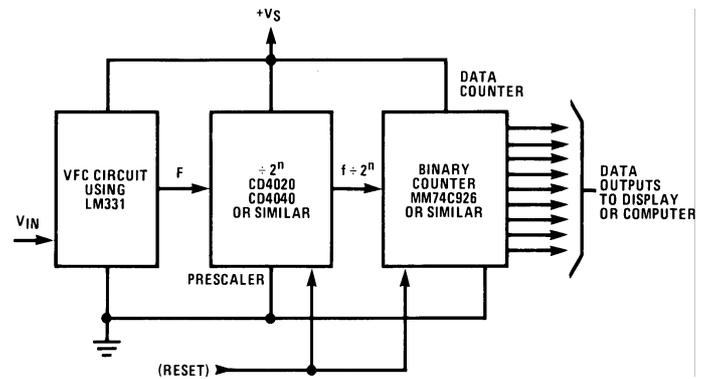


图22 使用VFC的数字积分器

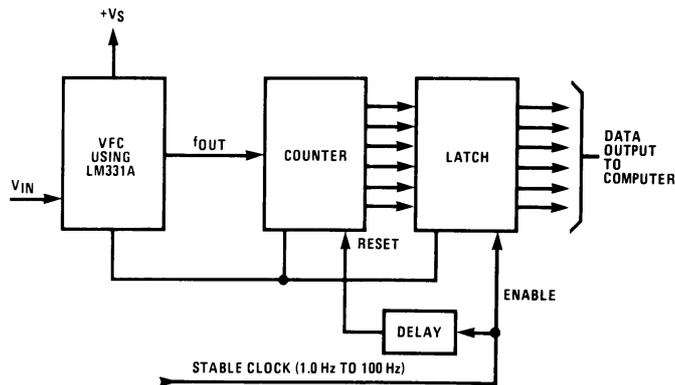


图23.使用电压-频率转换器的基本模数转换器

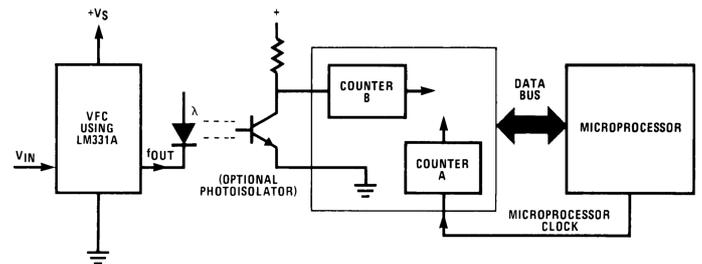


图24.带微处理器的模数转换器

系统示例 (续)

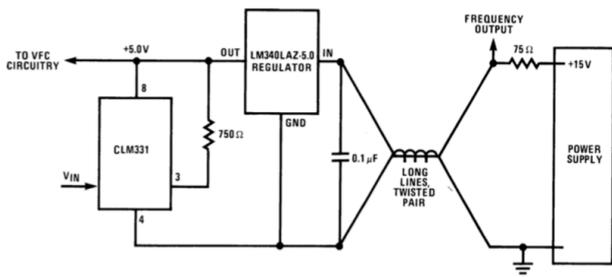


图25.带有两线制发送器和接收器的远程电压-频率转换器

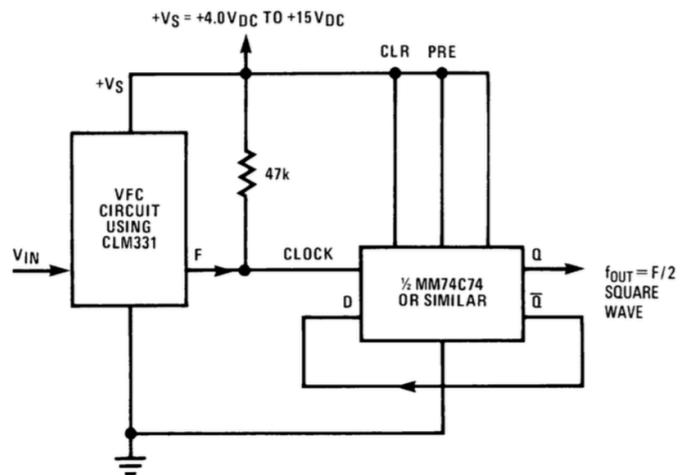


图26.使用 ÷2触发器的方波输出的电压-频率转换器

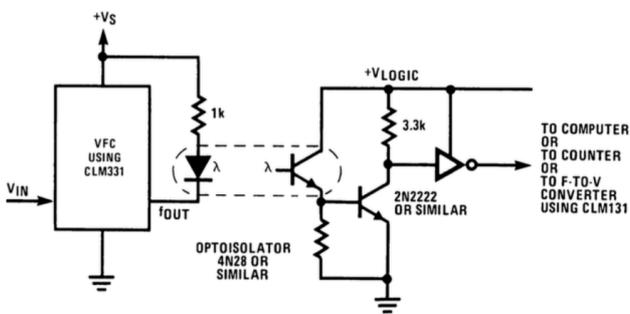


图27.带隔离器的电压-频率转换器

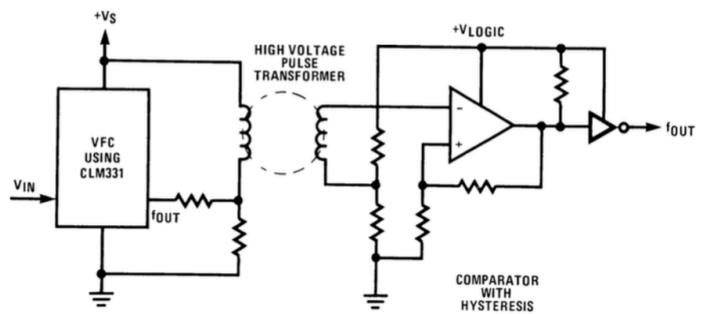


图28.带隔离器的电压-频率转换器

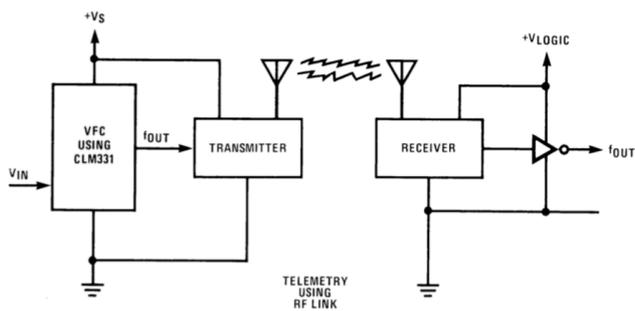


图29.带隔离器的电压-频率转换器

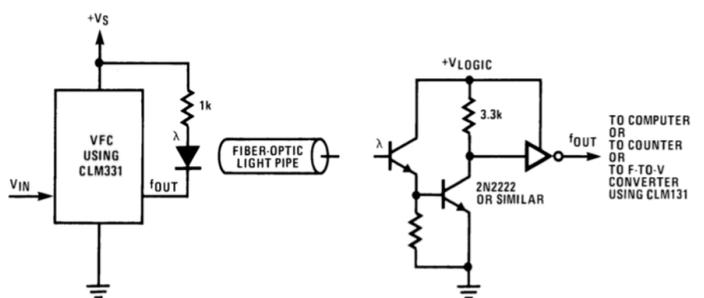


图30.带有隔离器的电压-频率转换器

电源建议

CLM331可以在4V至40V的宽电源电压范围内工作。为了器件正常工作，电源引脚应使用低ESR，1 μ F电容连接到地。为此，可以使用X7R电容。对于使用较高电源电压的系统，需确保旁路电容的额定电压足够。

布局

1. 布局准则

旁路电容必须放置在尽可能靠近电源引脚的位置。由于CLM331是通孔器件，因此可以将旁路电容放在底层。如果使用接地的输入电容来滤除高频输入信号，则应将电容放置在靠近电源引脚的位置。建议使用接地层，以在整个电路上提供低阻抗接地。

2. 布局示例

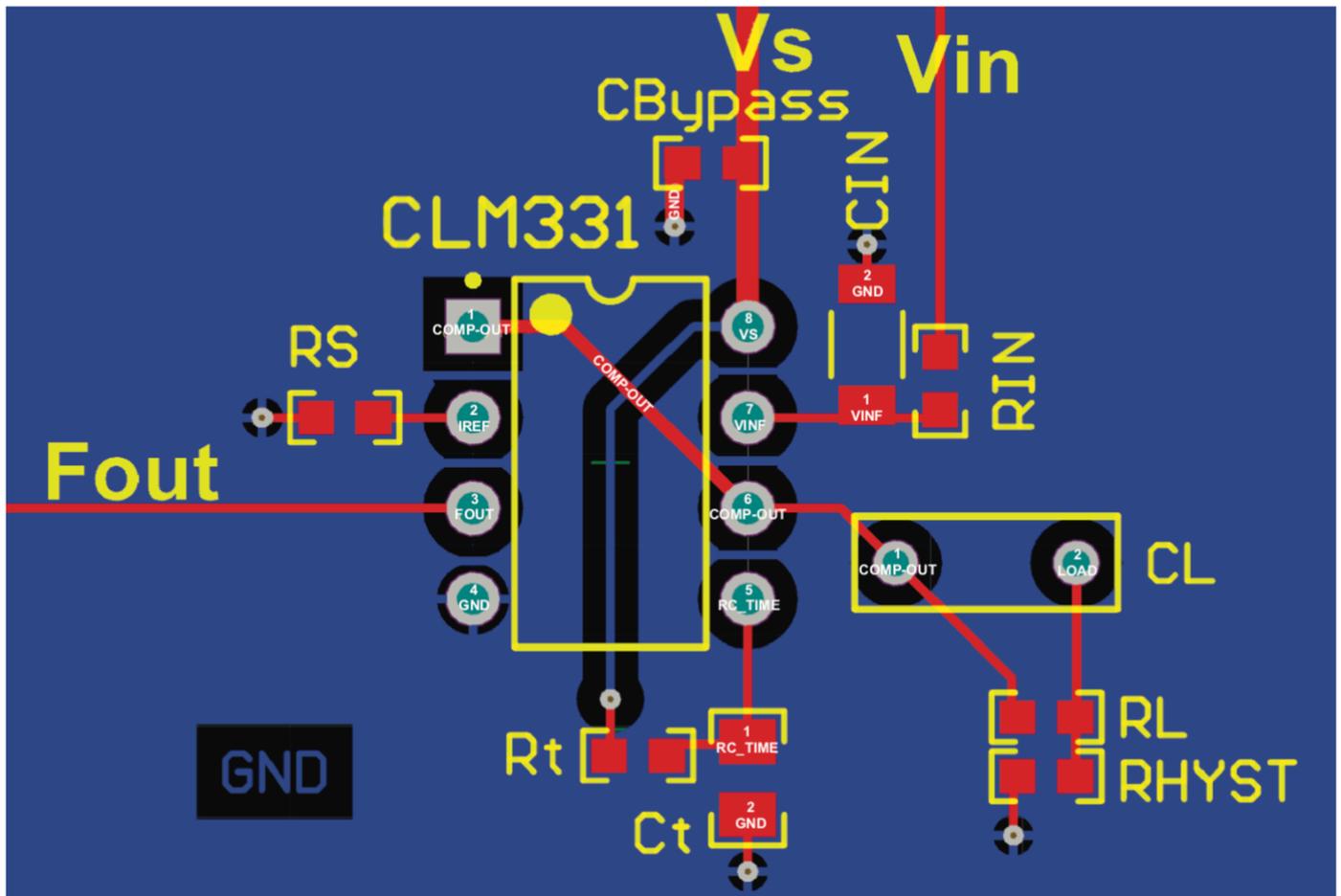
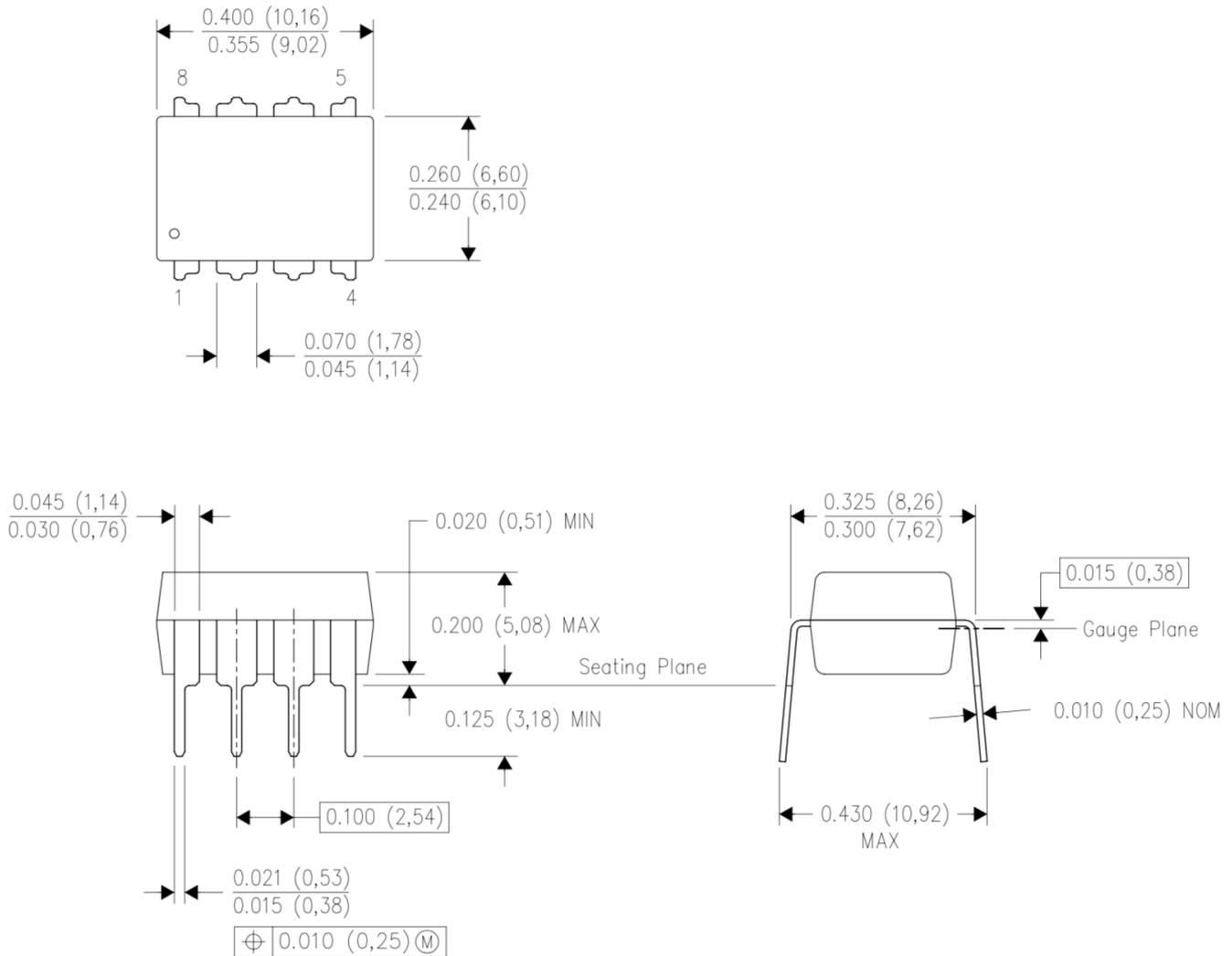


图31 布局示例

订购信息

可订购器件	状态 ⁽¹⁾	封装类型	封装图	引脚	封装数量	环保标准 (2)	铅/球表面处理 (6)	MSL峰值温度 (3)	工作温度 (°C)
CLM231AN/ NOPB	可用	PDIP	P	8	40	绿色 (RoHS 无 铅)	CU SN	Level-1-NA- UNLIM	-25 ~ 80
CLM231N/ NOPB	可用	PDIP	P	8	40	绿色 (RoHS 无 铅)	CU SN	Level-1-NA- UNLIM	-25 ~ 80
CLM331AN/ NOPB	可用	PDIP	P	8	40	绿色 (RoHS 无 铅)	CU SN	Level-1-NA- UNLIM	0 ~ 70
CLM331N/ NOPB	可用	PDIP	P	8	40	绿色 (RoHS 无 铅)	CU SN	Level-1-NA- UNLIM	0 ~ 70

P (R-PDIP-T8)



注意：A. 所有的尺寸以英寸（毫米）为单位。
 B. 本图纸如有更改，不另行通知。