

电压-频率变换器 LM331

LM331 是美国 NS 公司生产的性能价格比较高的集成芯片。LM331 可用作精密的频率电压 (F/V) 转换器、A/D 转换器、线性频率调制解调、长时间积分器以及其他相关的器件。LM331 为双列直插式 8 脚芯片，其引脚

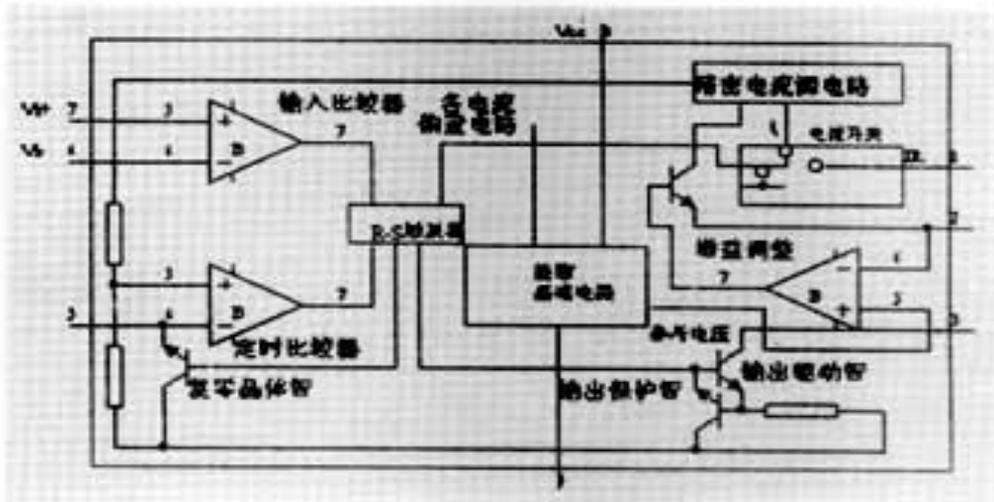


图 3 LM331 逻辑框图

如图 3 所示。

LM331 内部有 (1) 输入比较电路、(2) 定时比较电路、(3) R-S 触发电路、(4) 复零晶体管、(5) 输出驱动管、(6) 能隙基准电路、(7) 精密电流源电路、(8) 电流开关、(9) 输出保护点路等部分。输出管采用集电极开路形式，因此可以通过选择逻辑电流和外接电阻，灵活改变输出脉冲的逻辑电平，从而适应 TTL、DTL 和 CMOS 等不同的逻辑电路。此外，LM331 可采用单/双电源供电，电压范围为 4 ~ 40V，输出也高达 40V。 I_R (PIN1) 为电流源输出端，在 f_o (PIN3) 输出逻辑低电平时，电流源 I_R 输出对电容 C_L 充电。引脚 2 (PIN2) 为增益调整，改变 R_s 的值可调节电路转换增益的大小。 f_o (PIN3) 为频率输出端，为逻辑低电平，脉冲宽度由 R_L 和 C_L 决定。引脚 4 (PIN4) 为电源地。引脚 5 (PIN5) 为定时比较器正相输入端。引脚 6 (PIN6) 为输入比较器反相输入端。引脚 7 (PIN7) 为输入比较器正相输入端。引脚 8 (PIN8) 为电源正端。

LM331 频率电压转换器

V/F 变换和 F/V 变换采用集成块 LM331，LM331 是美国 NS 公司生产的性能价格比较高的集成芯片，可用作精密频率电压转换器用。LM331 采用了新的温度补偿能隙基准电路，在整个工作温度范围内和低至 4.0V 电源电压下都有极高的精度。同时它动态范围宽，可达 100dB；线性度好，最大非线性失真小于 0.01%，工作频率低到 0.1Hz 时尚有较好的线性；变换精度高，数字分辨率可达 12 位；外接电路简单，只需接入几个外部元件就可方便构成 V/F 或 F/V 等变换电路，并且容易保证转换精度。

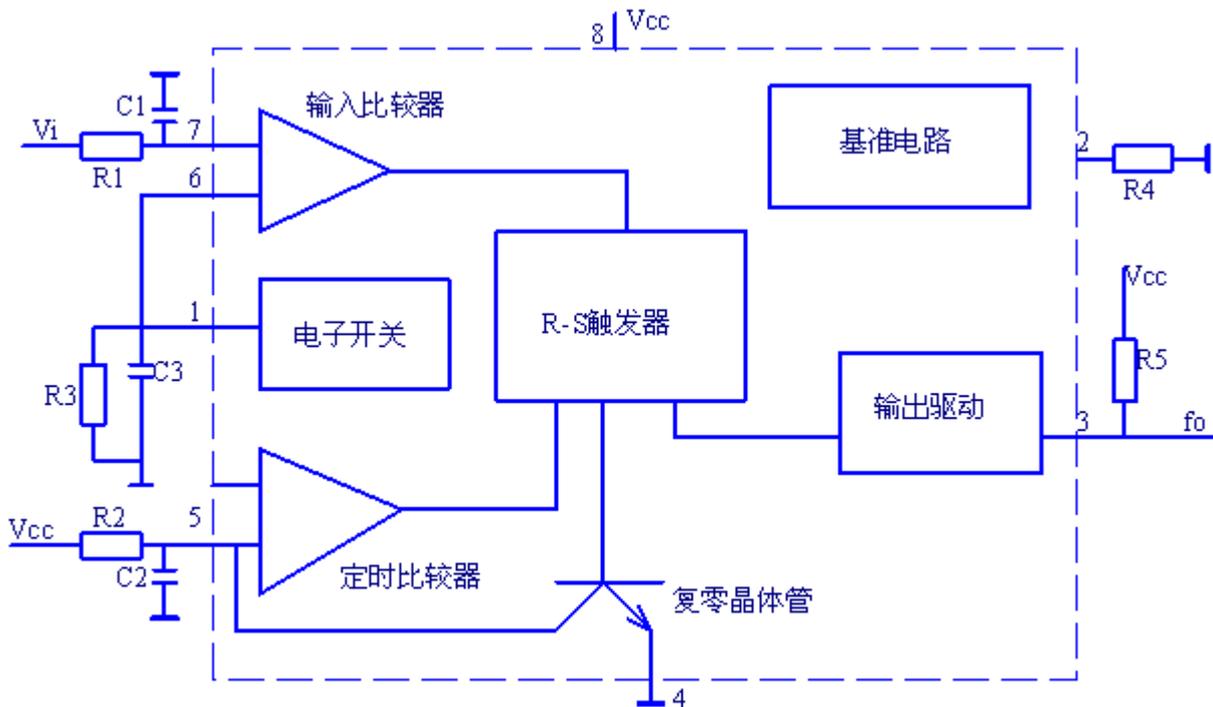


图 2

图 2 是由 LM331 组成的电压频率变换电路，LM331 内部由输入比较器、定时比较器、R - S 触发器、输出驱动、复零晶体管、能隙基准电路和电流开关等部分组成。输出驱动管采用集电极开路形式，因而可以通过选择逻辑电流和外接电阻，灵活改变输出脉冲的逻辑电平，以适配 TTL、DTL 和 CMOS 等不同的逻辑电路。

当输入端 V_i + 输入一正电压时，输入比较器输出高电平，使 R - S 触发器置位，输出高电平，输出驱动管导通，输出端 f_0 为逻辑低电平，同时电源 V_{cc} 也通过电阻 R_2 对电容 C_2 充电。当电容 C_2 两端充电电压大于 V_{cc} 的 $2/3$ 时，定时比较器输出一高电平，使 R - S 触发器复位，输出低电平，输出驱动管截止，输出端 f_0 为逻辑高电平，同时，复零晶体管导通，电容 C_2 通过复零晶体管迅速放电；电子开关使电容 C_3 对电阻 R_3 放电。当电容 C_3 放电电压等于输入电压 V_i 时，输入比较器再次输出高电平，使 R - S 触发器置位，如此反复循环，构成自激振荡。输出脉冲频率 f_0 与输入电压 V_i 成正比，从而实现了电压 - 频率变换。其输入电压和输出频率的关系为：

$$f_0 = (V_i \times R_4) / (2.09 \times R_3 \times R_2 \times C_2)$$
由式知电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 、和 C_2 直接影响转换结果 f_0 ，因此对元件的精度要有一定的要求，可根据转换精度适当选择。电阻 R_1 和电容 C_1 组成低通滤波器，可减少输入电压中的干扰脉冲，有利于提高转换精度。

同样，由 LM331 也可构成频率 - 电压转换电路。

LM331 压频变换器的原理及应用

摘要：介绍了集成电路 LM331 的结构和特点，分析了 V/F 和 F/V 电路的工作原理。同时也给出了一些应用的例子。

关键词：电压 - 频率变换； 频率 - 电压变换； LM331

1. 概述

LM331 是美国 NS 公司生产的性能价格比较高的集成芯片, 可用作精密频率电压转换器、A/D 转换器、线性频率调制解调、长时间积分器及其他相关器件。LM331 采用了新的温度补偿能隙基准电路, 在整个工作温度范围内和低到 4.0V 电源电压下都有极高的精度。LM331 的动态范围宽, 可达 100dB; 线性度好, 最大非线性失真小于 0.01%, 工作频率低到 0.1Hz 时尚有较好的线性; 变换精度高, 数字分辨率可达 12 位; 外接电路简单, 只需接入几个外部元件就可方便构成 V/F 或 F/V 等变换电路, 并且容易保证转换精度。

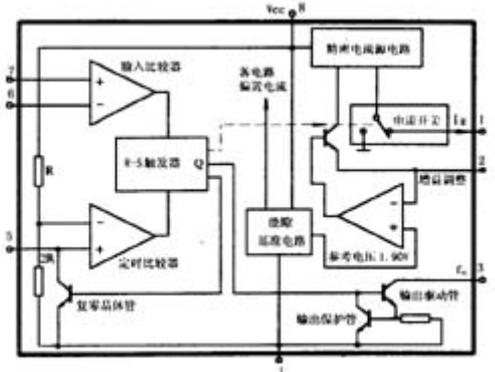


图1 LM331 内部结构电路

LM331 的内部电路组成如图 1 所示。由输入比较器、定时比较器、R - S 触发器、输出驱动管、复零晶体管、能隙基准电路、精密电流源电路、电流开关、输出保护管等部分组成。输出驱动管采用集电极开路形式, 因而可以通过选择逻辑电流和外接电阻, 灵活改变输出脉冲的逻辑电平, 以适配 TTL、DTL 和 CMOS 等不同的逻辑电路。LM331 可采用双电源或单电源供电, 可工作在 4.0 ~ 40V 之间, 输出可高达 40V, 而且可以防止 Vcc 短路。

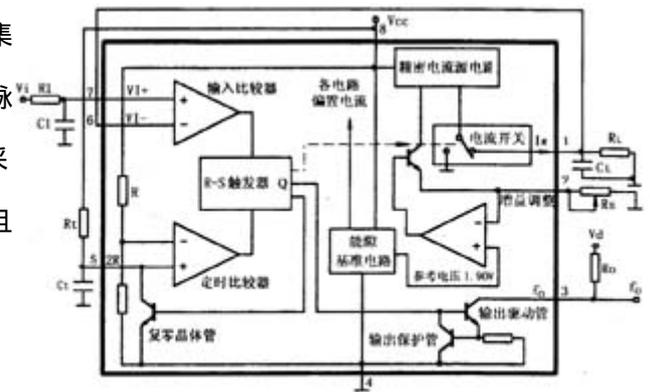


图2 LM331V/F 电路图

2. 工作原理

2.1 电压—频率变换器

图 2 是由 LM331 组成的电压-频率变换器。它由输入比较器、定时比较器、复零晶体管、R - S 触发器等构成单稳定时电路。当输入端 Vi+ 输入一正电压时, 输入比较器输出高电平, 使 R - S 触发器置位, Q 输出高电平, 输出驱动管导通, 输出端 f0 为逻辑低电平, 同时, 电流开关打向右边, 电流源 Ir 对电容 Ct 充电。此时由于复零晶体管截止, 电源 Vcc 也通过电阻 Rt 对电容 Ct 充电。当电容 Ct 两端充电电压大于 Vcc 的 2/3 时, 定时比较器输出一高电平, 使 R - S 触发器复位, Q 输出低电平, 输出驱动管截止, 输出端 f0 为逻辑高电平, 同时, 复零晶体管导通, 电容 Ct 通过复零晶体管迅速放电; 电流开关打向左边, 电容 Ct 对电阻 Rt 放电。当电容 Ct 放电电压等于输入电压 Vi 时, 输入比较器再次输出高电平, 使 R - S 触发器置位, 如此反复循环, 构成自激振荡。图 3 画出了电容 Ct、Ct 充放电和输出脉冲 f0 的波形。设电容 Ct 的充电时间为 t1, 放电时间为 t2, 则根据电容 Ct 上电荷平衡的原理, 我们有:

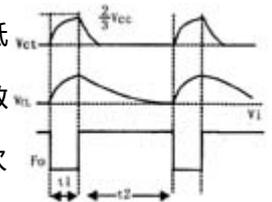


图3 电容充放电输出波形图

$$(I_r - V_i/R_t)t_1 = t_2 V_i/R_t$$

从上式可得:

$$f_0 = 1/(t_1 + t_2) = V_i / (R_t I_r t_1)$$

实际上, 该电路的 VL 在很少的范围内(大约 10mV)波动, 因此, 可认为 VL=Vi, 故上式可以表示为:

$$f_0 = V_i / (R_L I_R t_i)$$

可见，输出脉冲频率 f_0 与输入电压 V_i 成正比，从而实现了电压 - 频率变换。式中 I_R 由内部基准电压源供给的 1.90V 参考电压和外接电阻 R_s 决定， $I_R = 1.90 / R_s$ ，改变 R_s 的值，可调节电路的转换增益， t_i 由定时元件 R_t 和 C_t 决定，其关系是 $t_i = 1.1 R_t C_t$ ，典型值 $R_t = 6.8k$ ， $C_t = 0.01 \mu F$ ， $t_i = 7.5 \mu s$ 。

由 $f_0 = V_i / (R_L I_R t_i)$ 可知，电阻 R_s 、 R_t 、 R_L 和电容 C_t 直接影响转换结果 f_0 ，因此对元件的精度要有一定的要求，可根据转换精度适当选择。电容 C_t 对转换结果虽然没有直接的影响。但应选择漏电流小的电容器。电阻 R_1 和电容 C_1 组成低通滤波器，可减少输入电压中的干扰脉冲，有利于提高转换精度。

2.2 频率 - 电压变换器

由 LM331 构成的频率 - 电压转换电路如图 4 所示，输入脉冲 f_i 经 R_1 、 C_1 组成的微分电路加到输入比较器的反相输入端。输入比较器的同相输入端经电阻 R_2 、 R_3 分压而加有约 $2V_{cc}/3$ 的直流电压，反相输入端经电阻 R_1 加有 V_{cc} 的直流电压。当输入脉冲的下降沿到来时，经微分电路 R_1 、 C_1 产生一负尖脉冲叠加到反相输入端的 V_{cc} 上，当负向尖脉冲大于 $V_{cc}/3$ 时，输入比较器输出高电平使触发器置位，此时电流开关

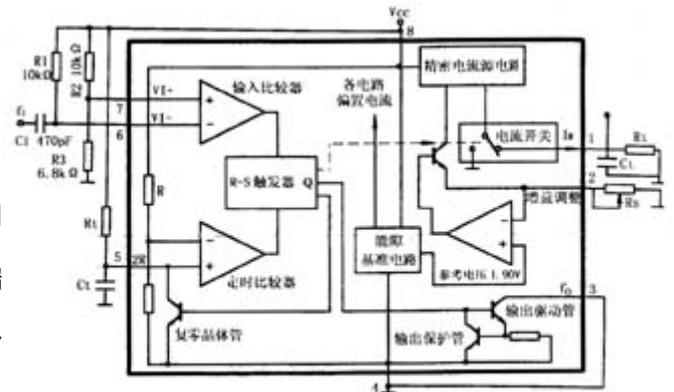


图 4 LM331F/V 电路图

打向右边，电流源 I_R 对电容 C_L 充电，同时因复零晶体管截止而使电源 V_{cc} 通过电阻 R_L 对电容 C_L 充电。当电容 C_L 两端电压达到 $2V_{cc}/3$ 时，定时比较器输出高电平使触发器复位，此时电流开关打向左边，电容 C_L 通过电阻 R_L 放电，同时，复零晶体管导通，定时电容 C_t 迅速放电，完成一次充放电过程。此后，每当输入脉冲的下降沿到来时，电路重复上述的工作过程。从前面的分析可知，电容 C_L 的充电时间由定时电路 R_t 、 C_t 决定，充电电流的大小由电流源 I_R 决定，输入脉冲的频率越高，电容 C_L 上积累的电荷就越多输出电压 (电容 C_L 两端的电压) 就越高，实现了频率 - 电压的变换。按照前面推导 V/F 表达式的方法，可得到输出电压 V_0 与 f_i 的关系为：

$$V_0 = 2.09 R_L R_t C_t f_i / R_s$$

电容 C_1 的选择不宜太小，要保证输入脉冲经微分后有足够的幅度来触发输入比较器，但电容 C_1 小些有利于提高转换电路的抗干扰能力。电阻 R_L 和电容 C_L 组成低通滤波器。电容 C_L 大些，输出电压 V_0 的纹波会小些，电容 C_L 小些，当输入脉冲频率变化时，输出响应会快些。这些因素在实际运用时要综合考虑。

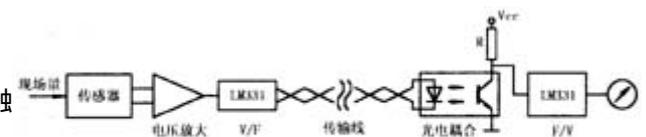


图 5 遥测电路图

3. 应用

图 5 为由两块 LM331 组成的遥测电路。在人员不能进入或不易进入的场合，通过传感器将被测量转换为电压，经运算放大器放大为 0~10V 电压信号，由 LM331 进行 V/F 变换为脉冲信号，通过长双绞线传输到测量室，在测量室内通过光电耦合器转换为幅度稳定的脉冲电压，此脉冲电压再经 LM331 进行 F/V 变换为电压进行测量，从而可避免直接导线连接到测量室而造成的线路衰减或干扰，提高测量精度。

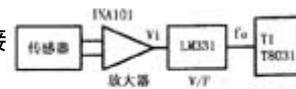


图 6 LM331 与单片机接口电路

当前，12 位以上的 A/D 转换器的价格仍较昂贵，用 V/F 变换器来代替 A/D 转换器，在要求速度不太高的场合是一种较好的选择。用 LM331 构成的 A/D 变换器采集系统接口电路如图 6 所示。从传感器来的毫伏级的电压信号经低温漂运算放大器 INA101 放大到 0~10V 后加到 V/F 变换器 LM331 的输入端，从频率输出端 f_0 输出的频率信号加到单片机 8031 的输入端 T1 上。根据分辨率的要求利用软件(限于篇幅，程序部分略)处理，最后得到 A/D 转换的结果。