

基于 AD630 的锁相放大器结构，电路要包括以下部分：输入信号、前置放大、参考信号、带通滤波器、隔离器、移相器、调制器、比较器、缓冲放大器、积分器等。

输入信号往往频率成分比较复杂，尽管锁相放大器本身能够很好地滤波，但是实验证明，前边使用一个带宽很窄的带通滤波器首先对输入信号进行滤波，能更好地限制幅值很大的过高频和过低频输入信号成分干扰，从而避免了锁相放大器承受噪声冲击的干扰；由于参考信号一般取自信号源电路，所以必须对参考信号进行信号隔离，有利于保护信号源电路，防止后端电路噪声串扰信号源电路的输出特性；移相器是对信号相位进行调整，将参考信号与输入信号调整到同相状态，使同频信号获得最大增益输出；AD630 锁相放大器的主要功能主要由比较器、调制器和缓冲放大器完成，其参考信号与输出信号见图 4、图 5；积分电路是将 AD630 输出信号进行整流，设计一款低通滤波器便可以完成此功能。

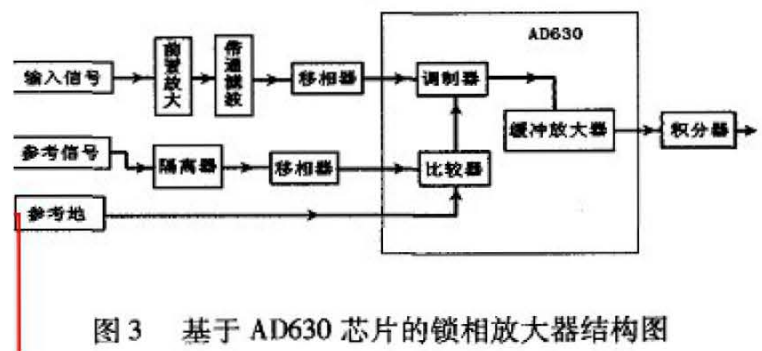


图 3 基于 AD630 芯片的锁相放大器结构图

根据以上分析设计，实际设计电路图见图 6。锁相放大器芯片(AD630)11 脚供电 +12V；8 脚供电 -12V；9 脚为信号输入端；13 脚为信号输出端；1 脚与 16 脚都为参考输入端。

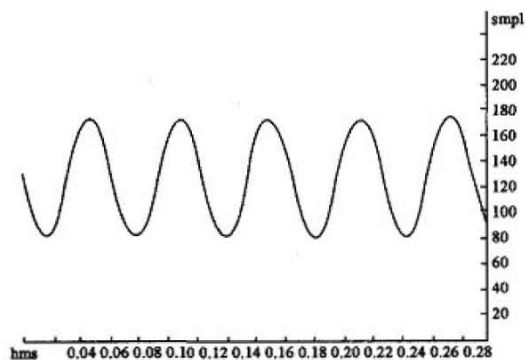


图 4 AD630 参考信号

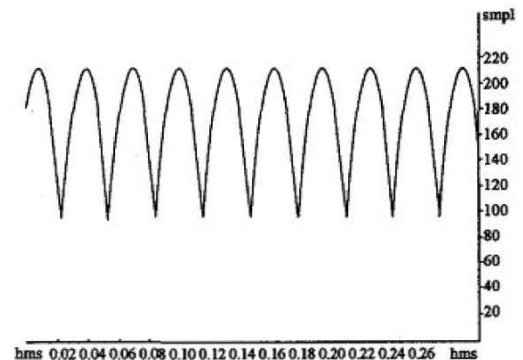


图 5 AD630 输出信号

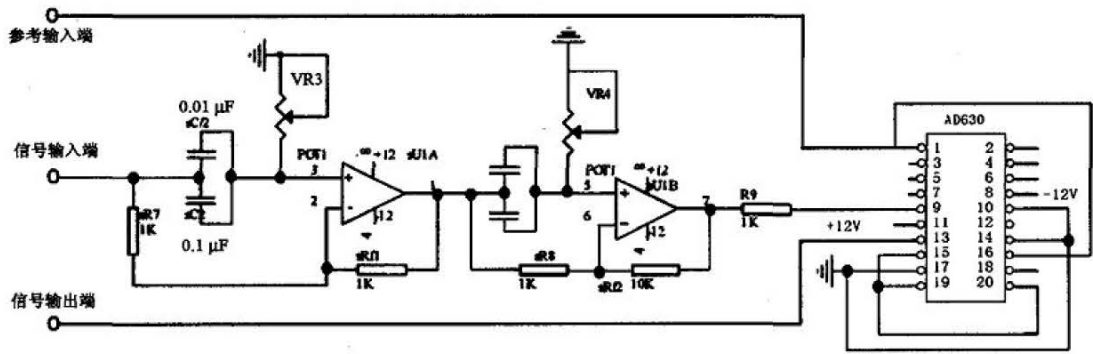


图6 锁相放大器电路图

### 产生两路模拟输出的紧凑四象限锁入放大器

本例中的电路采用 Analog Devices 公司的 AD630 平衡调制解调 IC 实现了一种简单的低成本锁入放大器（参考文献 1）。该器件使用激光微调薄膜电阻，这带来了很高的准确性和稳定性，并因此产生了一种灵活的换向体系结构。它可用于同步检测等先进的信号处理应用。如果知道信号的频率与相位，那么即使存在振幅大得多的噪声源，该放大器也能检测出微弱的 AC 信号。

作为模拟放大器，AD630 显示了输入电压信号在某个狭窄频带内的分量，该频带围绕基准信号的频率。AD630 输出端的低通滤波器使你能获得关于微弱信号振幅的信息，它原本被无关的噪声掩盖了。当输入电压与基准电压同相时，低通滤波器的输出  $V_{OUT}$  具有最大振幅。相反，如果输入电压与基准电压正交，则输出电压在理想情况下将为 0V。这样，如果可获得同相基准信号和正交基准信号，则两个平衡解调器显示同相输出电压为  $0^\circ$ ，正交输出电压为  $90^\circ$ 。你可以计算模移和相移，方法如下：

$$|V_{OUT}| = \sqrt{V_{OUT0}^2 + V_{OUT90}^2} = V_{OUT90}$$

$$\angle V_{OUT} = \tan^{-1} \left( \frac{V_{OUT90}}{V_{OUT0}} \right)$$

两个 AD630 的增益为  $\pm 2$ ，并通过两个相同的放大器 A1 和 A2 接收放大的信号  $V_{IN}$ 。在 IC1 的 7 号引脚，出现一个与基准信号同相的双极  $\pm 5V$  平方信号。OA1 把放大器电压积分，这产生了一个三角波，IC2 的比较器把它与 VR2 电压做比较。你必须调整 VR1 和 VR2 来为 IC2 获得完美的  $90^\circ$  相移命令。你可以监视 IC2 的 7 号引脚的电压。测量准确性和可重复性依赖于积分器的 RC 时间常量以及 VR1 和 VR2 的值。

你可以使用不同方法来产生同相和正交基准信号。图 2 描绘了一条全数字电路，你可在小型 CPLD 中实施该电路，来产生图 1 中的  $0$  和  $90^\circ$  基准信号。1 号计数器以数字时钟脉冲的数量  $N$  的形式来测量基准信号时间，其中的基准时间可能不同于 50%。在基准信号的每个正前沿，该计数器在  $N1=1$  处收到一条预设命令。D 型双稳态多谐振荡器 IC1 产生这类脉冲。在基准信号的每个正沿，IC2 都获得  $N/4$  值。同时，2 号计数器计算时钟周期数量，

并且当它的值达到比较器测量的  $N/4$  数量时，它在  $N2=1$  处收到重启命令。

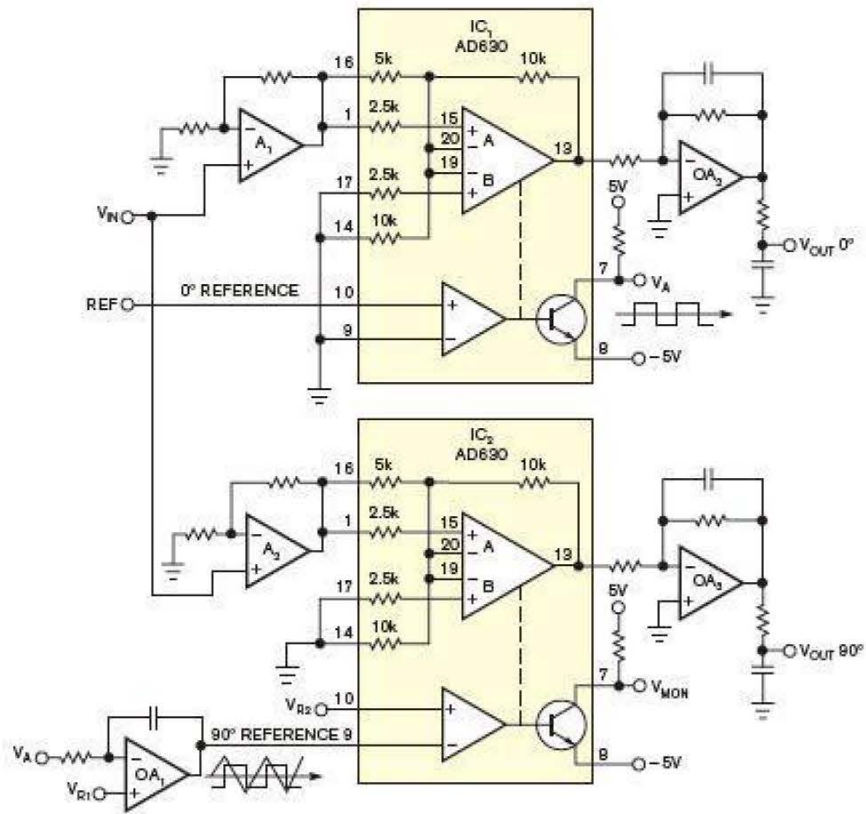


图 1，OA1 把双极  $V_A$  信号积分，并创建三角波。VR1 和 VR2 获得关于  $V_A$  的  $90^\circ$  相移基准电压。

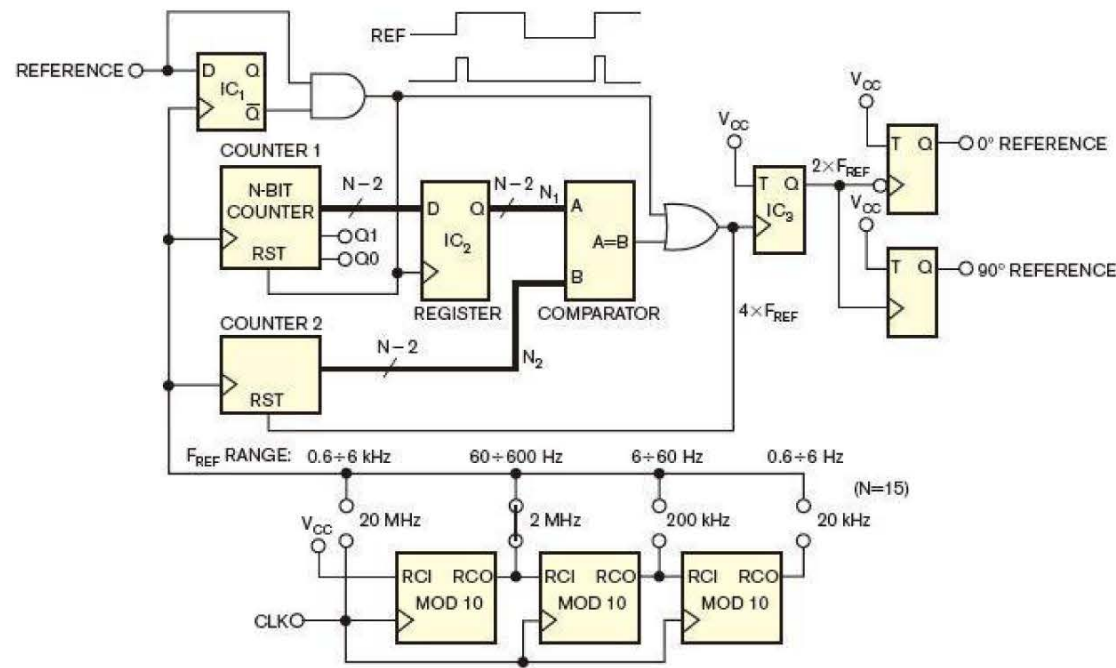




图 2，你可在小型 CPLD 中实现这条全数字电路。

当基准时间超过  $N/4$  整数的大约四倍时，就会缺少最后的 EQ 信号。为了克服这个问题，RST 脉冲和 EQ 脉冲的“或”组合会在每个基准时间周期内产生四条几乎等距的命令。 $N/4$  整数除法是逻辑右移 N1 的两位，在最后的脉冲位置上产生最大误差 3。这些脉冲分别产生同相信号和正交信号 0 和  $90^\circ$ ，来源于信号正沿或负沿的简单换向。T 型双稳态多谐振荡器 IC3 产生一个信号，频率为基准信号的两倍。这样，准确度等于  $3/N1$ 。

为使准确度至少能与 AD630 相比，1 号计数器的 N1 输出将为最高值。但是，如果你希望 N1 达到较高值，那么对于给定的数字时钟频率，位数的增加会使最大基准频率下降。例如，如果 N 是 15 位，则 N1 输出的最大值为 32,767，准确度约为 0.01%。如果基准时间周期缩短，则 N1 的最小值为 3,277，即最大值的十分之一，准确度相应降低为 0.1%，这可与 AD630 的增益准确度相比。为了增加基准频率，可分割数字时钟的频率，以便在基准时间变得太长时选择较小值。

参考文献：

1. “AD630 Balanced Modulator/Demodulator,” Revision E, Analog Devices, 2004.

## 数据手册【翻译版】

AD630 是一款高精度平衡调制器，采用灵活的换流结构，并由经过激光晶圆调整的薄膜电阻提供出色的精度和温度稳定性。其信号处理应用包括：平衡调制和解调、同步检波、相位检测、正交检波、相敏检测、锁定放大以及方波乘法。片上应用电阻网络提供  $\pm 1$  和  $\pm 2$  的精密闭环增益，精度为 0.05% (AD630B)。这些电阻也可以用来精确配置多路复用器增益： $+1$ 、 $+2$ 、 $+3$  或  $+4$ 。或者，也可以采用外部反馈，允许设计人员实现高增益或复杂的开关反馈拓扑结构。

### 特性：

- 100dB 噪声中恢复信号
- 2MHz 的频道带宽
- 120dB 的串扰 @ 1KHz
- 引脚可编程，闭环增益  $\pm 1$  and  $\pm 2$
- 0.05% 的闭环增益适配精度
- 100 $\mu$  V 通道失调电压 (AD630BD)
- 350kHz 全功率带宽

### 产品描述：

AD630 是一款高精度平衡调制器，结合了灵活的换流架构，通过激光晶圆调整的薄膜电阻提供精度和温度稳定性。它的信号处理应用包括平衡调制和解调，同步检波

【synchronous detection】，相位检测，正交检波，相敏检波，锁相放大，和方波乘法。板上应用的电阻网络提供精确的  $\pm 1$ ， $\pm 2$  闭环增益在 0.05% 的精度 (AD630B)。这些电阻用于精确配置多路复用器的增益为  $+1, +2, +3, +4$ 。或者，使用外部反馈，允许设计者实现高增益或者复杂转换的反馈拓扑结构。

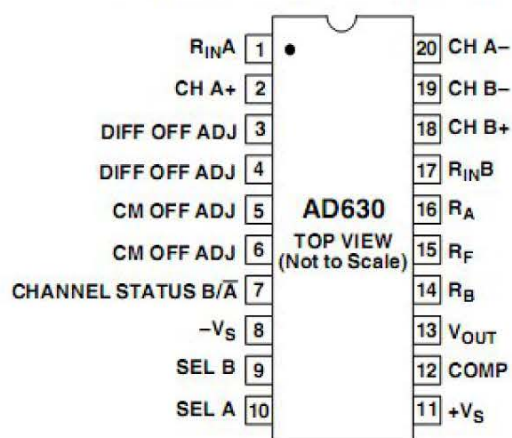
AD630 能够作为一个精确的运放，有两个差分输入阶和一个精确的比较器（用于选择

有源前段 active front end)。比较器的快速响应时间与电压转换速率【slew rate 就是电压转换速率 (Slew Rate)，简写为 SR，简称压摆率。其定义是在 1 微秒或者 1 纳秒等时间里电压升高的幅度，直观上讲就是方波电压由波谷升到波峰所需时间，单位通常有 V/s, V/ms, V/ $\mu$ s 和 V/ns 四种。电压转换速率用示波器就可以测量。】和线性放大器最小转换失真的快速设置想耦合。另外，在-100dB@10kHz，AD630 在通道间的串扰极低。

AD630 用于精确的信号处理和仪器应用中，要求很宽的动态范围。当用于锁相放大配置中的同步解调器使用，能够从 100dB 干扰噪声中恢复小信号（看锁定放大应用部分）。尽管最优的操作是在 1KHz，但是在频率达到几百 KHz 的电路中仍然是有用的。

其他的特点包括了引脚可编程的频率补偿，可变输入电流补偿电阻，共模和差模偏置电压调整，频道状态输出指示两个不同的差分输入被激活。

### 20-Lead SOIC, PDIP, and CERP



### AD630

两种方式考虑 AD630

在其内部框图里，独立的 A 和 B 通道前置放大器，开关，和集成输出放大组合成单个的运算放大器。放大器有 2 个差分输入通道，仅仅有一个是有效的

### AD630 如何工作

AD630 的操作运行方式可能会更容易识别为一个敏感电压比较器的控制下的可以插入到信号路径中的两个固定增益级。当电路在正相和反相增益之间转换，他提供了基本的调制解调功能。630 是唯一的包括了激光晶圆调整的薄膜反馈电阻在单片芯片内。在图 2 中配置产生了  $\pm 2$  的增益并且能够容易的通过移动 RB 从地连接到输出端口转换到  $\pm 1$  增益。

## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

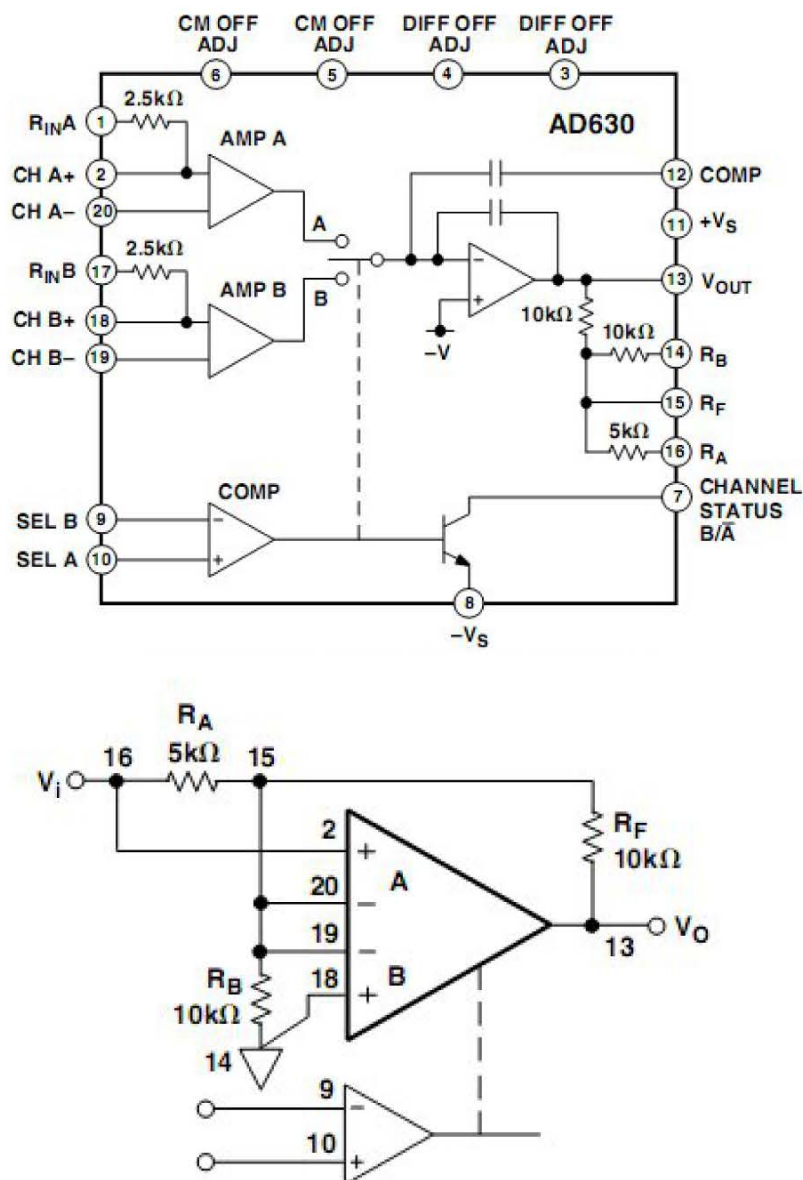


Figure 2. AD630 Symmetric Gain ( $\pm 2$ )

比较器选择两个输入级中的一个去完成运行的反馈连接，取消选择输入是关闭的，并且对操作的影响可以忽略。

当通道 B 被选择，电阻 R<sub>a</sub> 和 R<sub>f</sub> 作为反相反馈连接，在如图 3 的反相增益配置框图。放大器有足够的环路增益来减小 R<sub>b</sub> 在反馈连接的虚地端的负载效应。当比较器的输入符号反转了，输入 B 取消选择，A 被选中，新的等效电路为同相增益配置（如图 4）。R<sub>a</sub> 通过了运放的输入终端，但由于放大器驱动差分电压为 0，闭环增益不受影响。



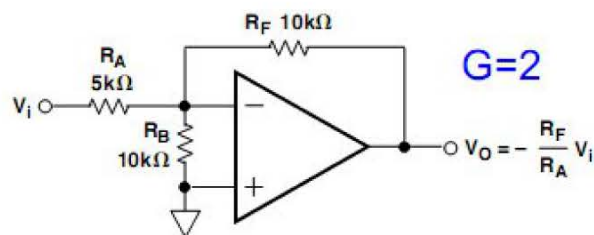


Figure 3. Inverting Gain Configuration

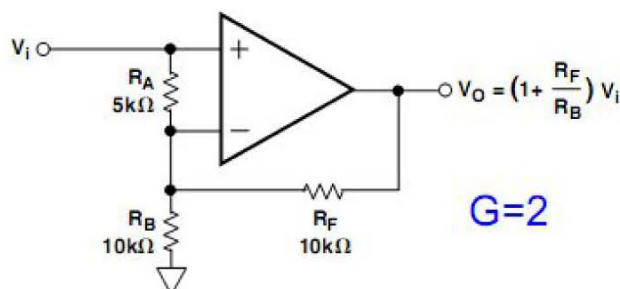


Figure 4. Noninverting Gain Configuration

当  $R_f/R_a=1+R_f/R_b$  时，这两个闭环增益大小相等，这是由于使  $R_a$  等于  $R_f R_b / (R_f + R_b)$ ， $R_f$  和  $R_b$  的并联等效电阻。

5KkΩ 和两个 10 kΩ 电阻可以使得 AD630 的增益为 2。通过并联 10 kΩ 的电阻使得  $R_f$  等于 5 kΩ，减去  $R_b$ ，电路被编程为  $\pm 1$  的增益（如 9a 所示）。这些和其它的，使用芯片上的电阻的配置表述了一个 2.5kΩ 的源阻抗的反相输入端。更完整的 AD630 框图表示了在同相输入端 2.5kΩ 电阻有效，这样能够方便减小由于输入偏置电流导致的误差。

#### 其他增益配置

很多应用要求转换增益不是由本身包含的电阻提供的增益  $\pm 1$  和  $\pm 2$ ，AD630 可以容易地与三个外部电阻在很宽的范围内正和负增益进行编程，通过选择和  $R_B$  与  $R_F$ ，得到同相增益  $1 + R_F / R_B$  和随后的  $R_A$ ，得到所需的反相增益。当反相的大小等于正向大小， $R_a$  的值就等于  $R_f R_b / (R_f + R_b)$ ，这是由于  $R_a$  应该等于  $R_b$  和  $R_f$  的并联大小，匹配正负增益。

AD630 的反馈综合也包括了反应阻抗（reactive impedance）。增益大小在所有频率都匹配，如果 A 阻抗等于 B 和 F 阻抗的并联。同样的考虑也适用于以传统的运算放大器的反馈电路的 AD630。事实上，使用 AD630 能够实现简单的同相 L 网（L network）反馈，常见的排列如图 6 所示。电路低频增益为 10，响应在频率  $f$  约等于  $1/(2\pi \cdot 100 \text{ k}\Omega C)$  有一个极点（-3dB）和在大约 10 倍频率的零点（3dB 高频渐近线）。与每个电容器串联的 2k 的电阻可减轻驱动该电路的电路上的负载效应，消除了稳定性的问题，并且具有较小的影响的零极点的位置。

【高频不变，低频放大】作为反应性反馈的结果，转换的输入信号的高频分量将在单位增益发送，而低频分量而将被放大。这些设置对于解调器和锁相放大非常有用。当调制或者干扰大于期望的信号幅值，它就增加了电路的动态范围。输出信号包括了期望的信号乘以低频增益（对于大反馈率，可能有几百），转换的信号和干扰叠加到单位增益上。

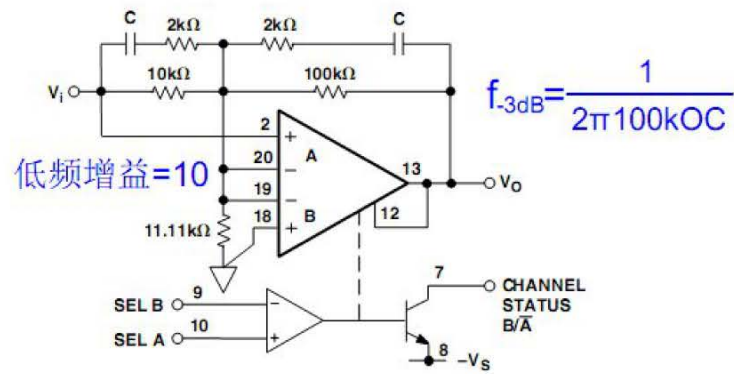


Figure 6. AD630 with External Feedback

转换输入阻抗

频率补偿

偏置电压趋于 0

通道状态输出

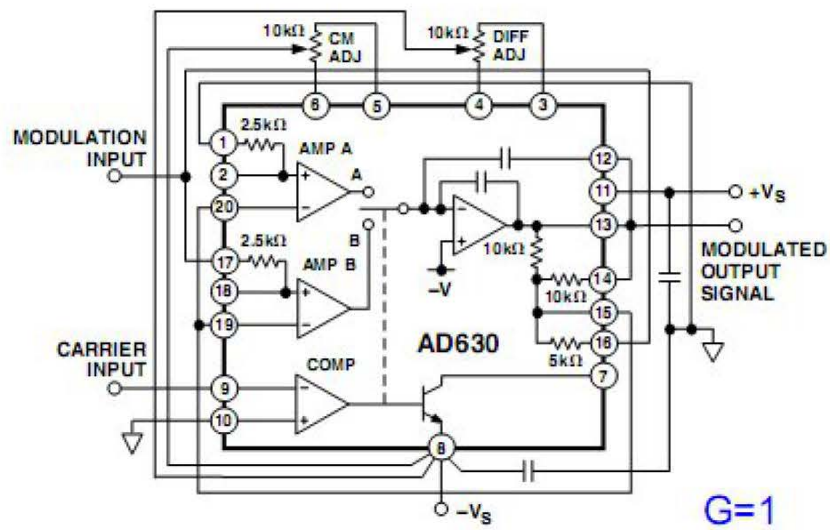


Figure 9a. AD630 Configured as a Gain-of-One Balanced Modulator



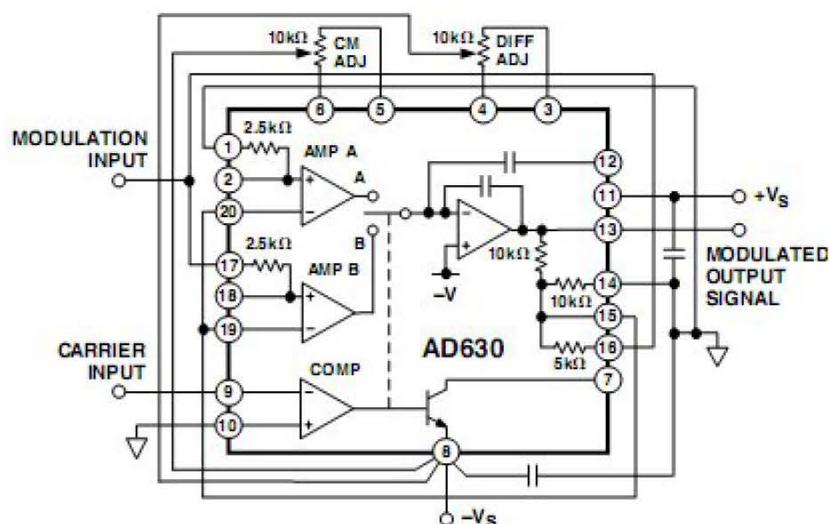


Figure 9b. AD630 Configured as a Gain-of-Two Balanced Modulator

### 应用：平衡调制器

AD630 常用配置是作为平衡调制器。应用电阻提供的精确的对称增益（ $\pm 1$  配置如图 9a、 $\pm 2$  配置如图 9b）。配置的不同在于  $10\text{ k}\Omega$  的反馈电阻（14 引脚）和补偿电容（12 引脚）。注意例子中的  $2.5\text{ k}\Omega$  的偏置电流补偿电阻，在  $\pm 1$  增益配置中这些电阻完成相同的功能。图 10 描述了 AD630 用于调制载波为  $10\text{ kHz}$  的正弦波频率为  $100\text{ kHz}$  方波，结果为双边带抑制载波波形。

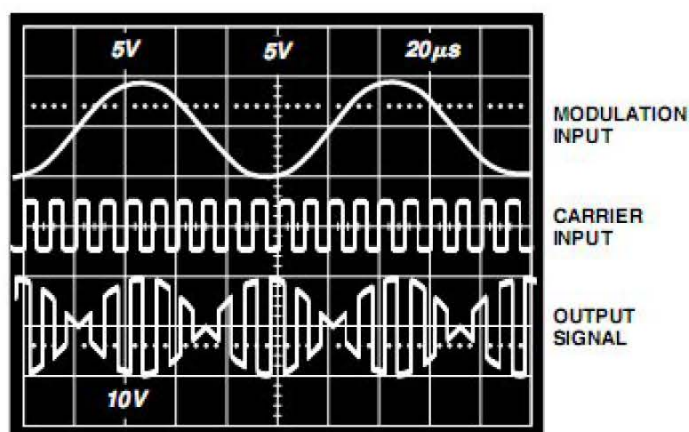


Figure 10. Gain-of-Two Balanced Modulator Sample Waveforms

### 平衡解调器

如果一个双边带抑制载波波形被施加到信号输入端和载波信号是施加到参考输入端，上述的平衡调制器拓扑也将作为一个平衡的解调器。此环境下的输出为基带调制信号，高阶载体部分通过低通滤波器过滤掉了。此功能的其他名称是同步解调和相位敏感检测。

### 精确的相位比较器

如图 9a 和 9b 的平衡调制器拓扑也可用于精确的相位比较器。一个特定频率的交流波形被施加到信号输入端，相同频率的波形被施加到参考输入端，直流输出（通过低通滤波得到）信号与输入间信号的幅值和相位差成比例。如果信号幅值保持不变，输出可以做为相位的直

接指示；当这些输入信号相位差为 90，他们认为是正交，AD630 的直流输出将为 0。

### 精密绝对值整流器

在平衡调制拓扑图中，如果输入信号被用作它自己的参考，AD630 将充当精确整流器的作用，高频性能将优于用二极管实现的反馈运算放大器，没有二极管压降，运放必“跨越”的换向放大器。

### LVDT（线性可变差动变压器）信号调整器

### AC 桥

### 锁定放大应用：

锁定放大是一种从干扰噪音中分离小窄带信号的方法，它充当检测器和窄带滤波器的作用。在有大量不相关噪音的情况下，当期望的信号频率和相位已知，非常小的信号能被检测出来。

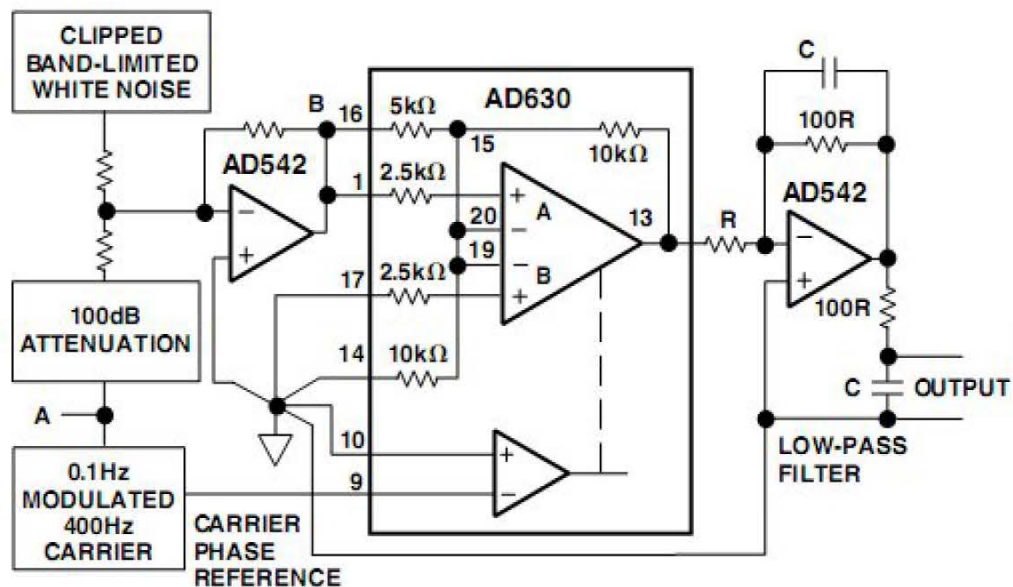
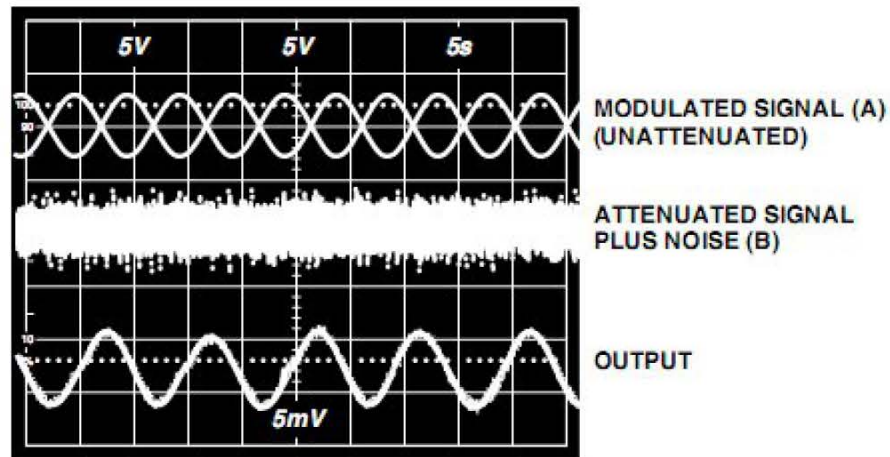


Figure 14. Lock-In Amplifier

锁定放大器就是一个基本的同步解调器后跟随一个低通滤波器。锁定放大器的应用的一个非常重要的测量参数就是解调器的动态范围，如图 14 所示的原理图，表示了用于锁定放大器时 AD630 的动态范围，图 15 为示波器照片，显示了 AD630 很大的动态范围。此图演示了一个 400Hz 的调制信号从大小近似自身 100000 倍的噪音信号中恢复出来。



**Figure 15. Lock-In Amplifier Waveforms**

测试信号 400Hz 的载波调制 0.1Hz 的正弦波产生，正弦调制波形用于清楚的说明，信号通过类似于图 9b 的电路产生，显示在如图 15 上部的轨迹。他被衰减 10 万次，规范化求和放大器的输出 B。噪音信号通过求和放大器加入到调制信号中，这个信号是简单的带限裁剪的白噪声。图 15 的中间轨迹显示了衰减的信号和噪音的叠加。混合信号使用相位信息同步解调（相位信息来自于调制器），结果为使用 2 极点的简单滤波器进行低通滤波，滤波器对输出端提供 100 增益，恢复后的信号在图 15 的下部。

上述这个混合的信号和干扰噪音类似于要求进行检测的锁定放大的信号。AD630 精确的输入性能提供了大于 100dB 的信号范围，并且其动态响应允许其用于载波频率比实例中的大于两个或以上的数量级。一个更复杂的低通输出滤波器，将有助于抵抗更宽的带宽干扰。