

運算放大器是不是非線性器件？

玩轉嵌入式 2022-10-17 07:22 發表於江蘇

推薦關注👉下方公眾號學習更多嵌入式知識！



玩轉嵌入式

專注於單片機、ARM、嵌入式等硬件、軟件設計經驗的分享，並提供一定的技術支持...

613篇原創內容

公眾號

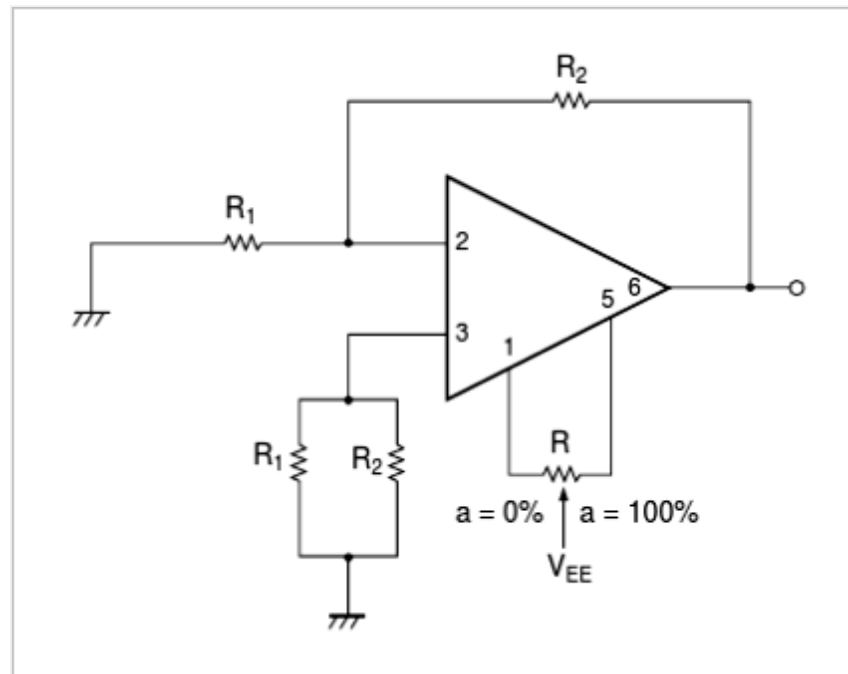
01 運算放大器的非線性

1. 運算放大電路

作為信號處理的常用器件，運算放大器，在其信號處理範圍之內，通常認為是線性器件。也就是它的增益不隨著信號的幅度變化而改變。影響運算放大電路精度的因素，或者說它的線性特性主要是由它的輸入偏置電壓、偏置電流造成的輸出零點的偏移。這一點往往可以通過增加零點補償調整電阻進行消除。

但是對於運放的非線性，即它的開環增益隨著信號幅度變化而變化的特性往往並不為人所重視。這是因為在常見到的運算放大電路中，通常採用反饋放大器的形式，只要運算放大器的增益足夠大，電路的放大倍

數是由外部的反饋電阻網絡決定的。比如下面的電路：



▲ 基本的應用電路

它的增益為：

$$Gain = \frac{1}{\alpha} \cdot \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{A_{VOL} \cdot \alpha}} \right]$$

其中： α 是反饋電阻網絡的比值： $\alpha = R_1/R_2$ ，是運放的開環電壓增益。如果足夠大，電路的增益將會由 $R_1 \cdot R_2$ 的比值決定。 $\alpha = R_1/R_2 A_{VOL} A_{VOL}$

但是作為精密放大電路，特別是要求放大倍數比較高的時候，隨著輸入電壓的變化，也就是運放的非線性就不能夠忽略了。特別是，這種非線性無法向電壓零點補償那樣容易消除。 A_{VOL}

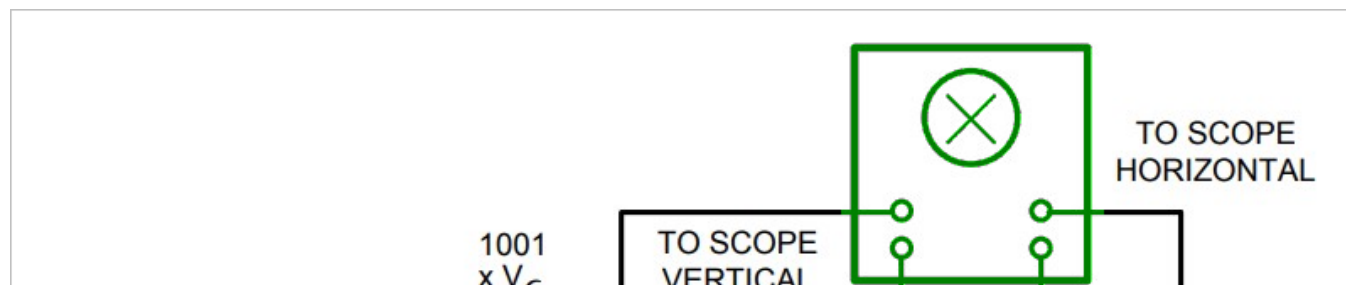
2. 如何測量運放非線性？

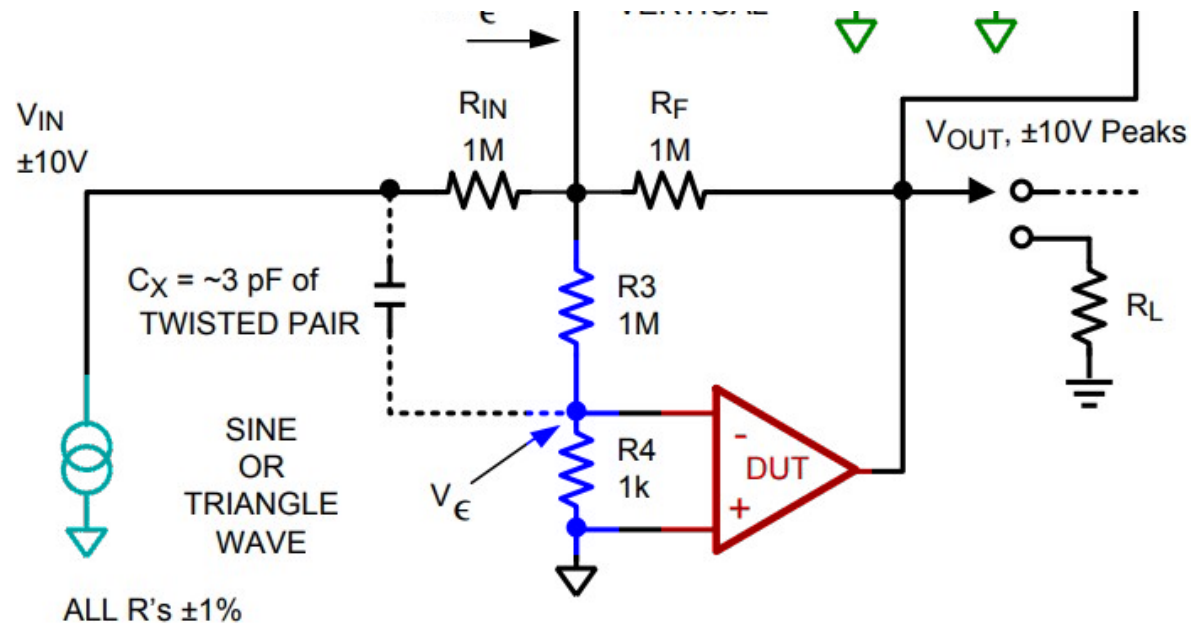
通常在運算放大器芯片的數據手冊中不會給出芯片的非線性指標。那麼如果評估芯片增益的非線性呢？

一些主要提供運放器件的半導體廠家會在其網站給出一些測量他們運放產品開關增益測量方案，比如TI公司 **TI:Gain and Linearity Testing for Precision Operational Amplifiers**，或者ADI公司 **AD:Op-Amp Open Loop Gain and Open Loop Gain Nonlinearity**。

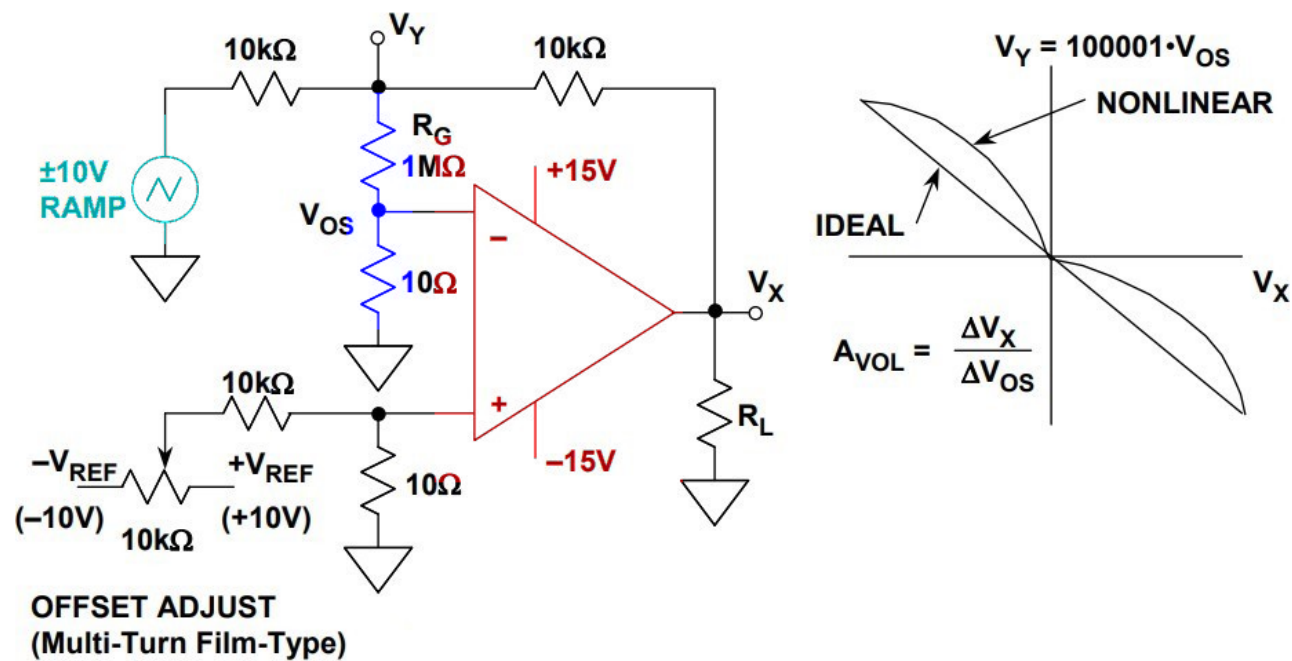
這些方案也都是比較成熟的測量方式。為了能夠對於通常比較大的運放開環電壓增益（通常大於100000）進行測量，所採用的方法是對反饋電壓再經過分壓之後連接至運放的負極性輸入端口。這樣便可以將運放輸入端微小的電壓放大之後反映在電路的輸出端口。

比如下面個電路就是分別來自TI，ADI公司的測量方案：





▲ TI:OP-AMP增益與線性測試電路



▲ AD：運放開關增益與開環增益非線性

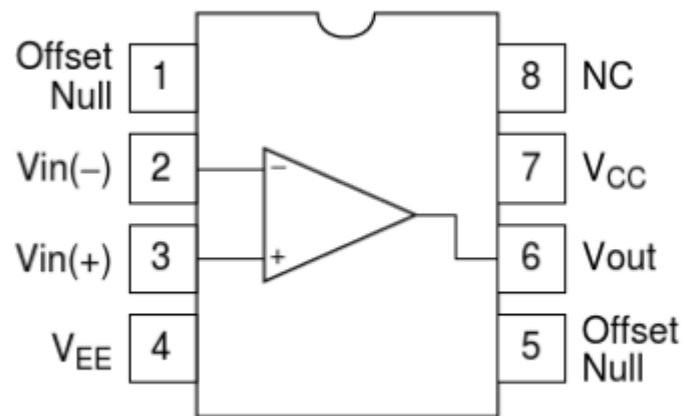
通過在輸入端加入低頻三角波形（10~50Hz）信號，通過觀察輸出信號的變化可以獲得器件的開環電壓增益以及對應的非線性。

02 實驗結果

下面的實驗來測量一款常見的運放它的電壓增益的非線性。

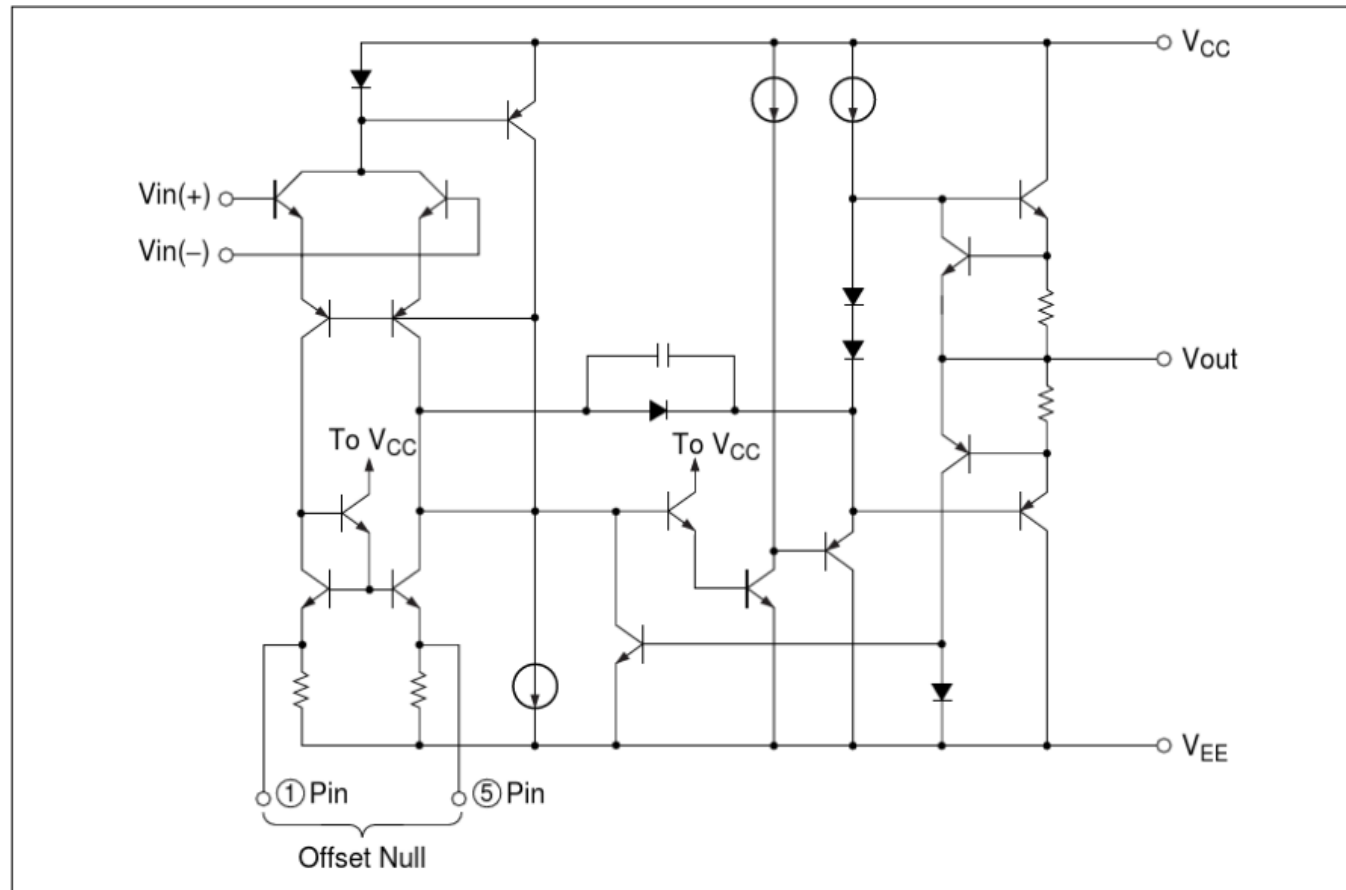
1. 測試芯片

用於實驗的芯片為 **HA17741**^[3] 是一款由HITACHI提供的頻率相位補償的通用運算放大器，主要用於測試與控制領域。開環增益約106dB（200,000倍），最大工作電壓 $\pm 18V$ 。下圖給出了期間的管腳功能定義。



▲ HA17741管腳配置

HA17741內部的等效電路如下圖所示。



▲ HA17741內部等效電路

根據內部結構可以看到芯片的輸入電壓偏置補償是通過PIN1,PIN5提供的。使用數字萬用表測量PIN1,PIN5

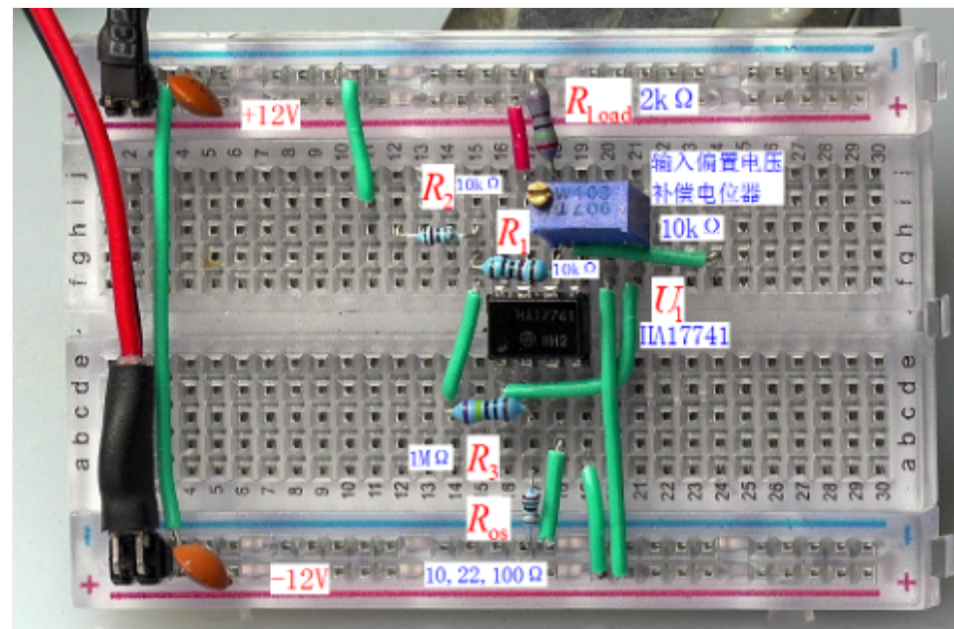
對於PIN4 (VEE) 之間的電阻，阻值分別為 (976Ω , 975Ω)。下圖給出了外部通過一個三端電位器對芯

片進行輸入偏置電壓進行補償。

2. 測試電路

根據前面ADI測試方案，在麵包板上簡單搭建起測試電路。其中放大器件偏置電壓信號是由 R_3 、 R_{os} 的比值決定。它們實際上與運放一起，減少了前向放大增益，進而在輸出信號增加了運放輸入信號放大之後的成分。

固定 $R_3=1M\Omega$ 不變，通過改變 R_{os} 的大小，觀察輸出信號的變化。



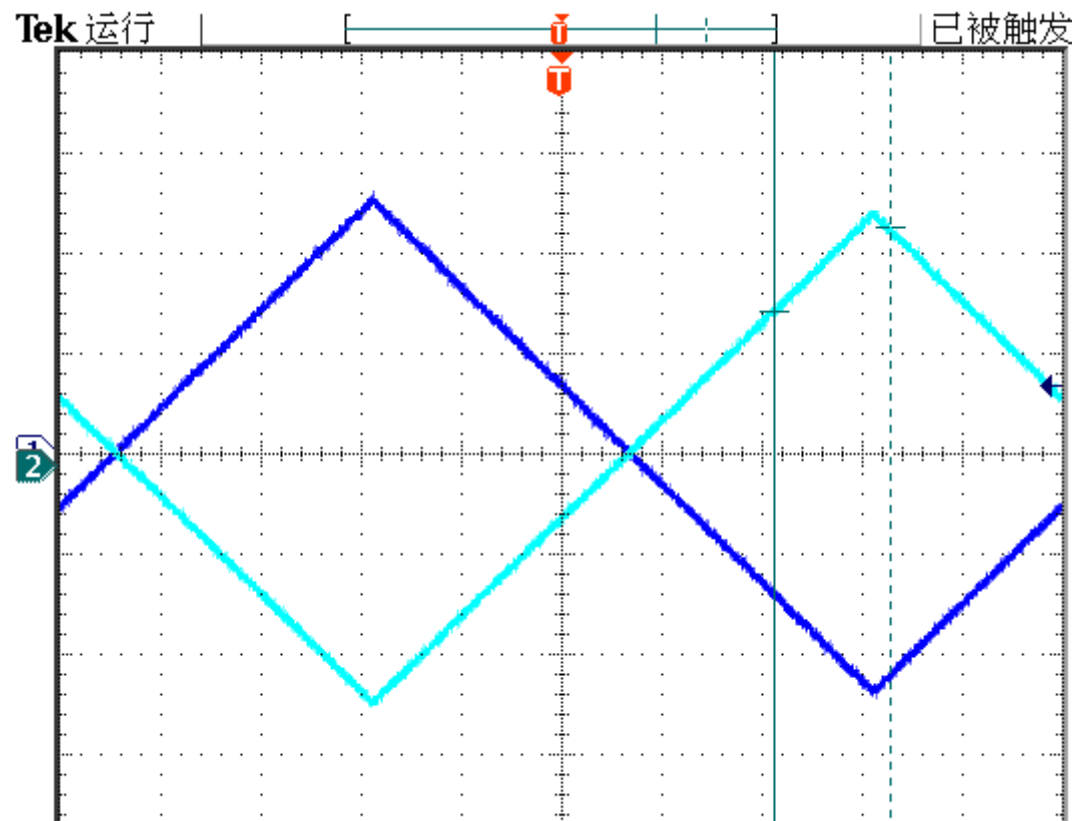
▲ 測試電路

3. 測量結果

下面分別選擇 R_{os} 為 $\infty\Omega$ ， 100Ω ， 22Ω ， 10Ω ，記錄運放的輸出信號。輸入信號為峰峰值10V，頻率為10Hz的三角波信號。

□ $R_{os}=\infty\Omega$

下圖顯示，輸入輸出信號保持嚴格的反向，增益為-1。此時運放的非線性（增益隨著輸入電壓變化）的特性沒有反映到輸出信號中來。

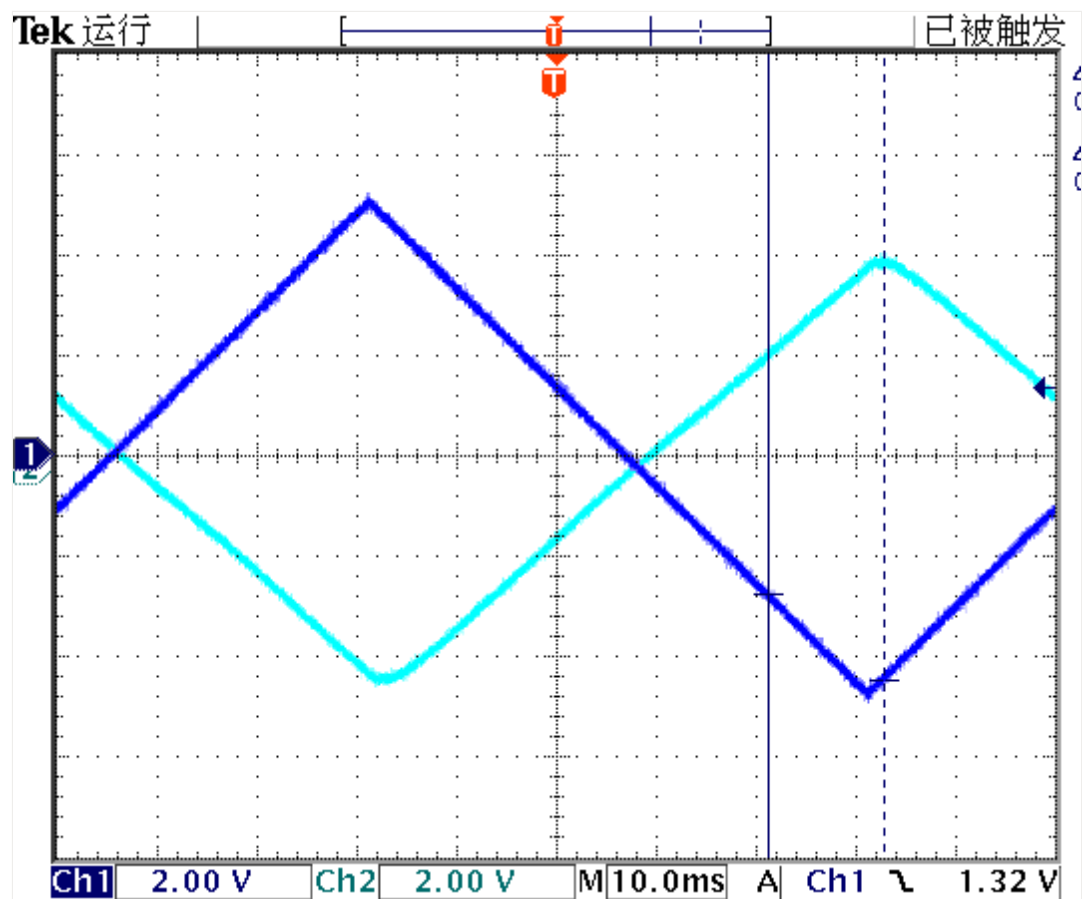




▲ 輸入信號（藍色）與輸出信號（青色）

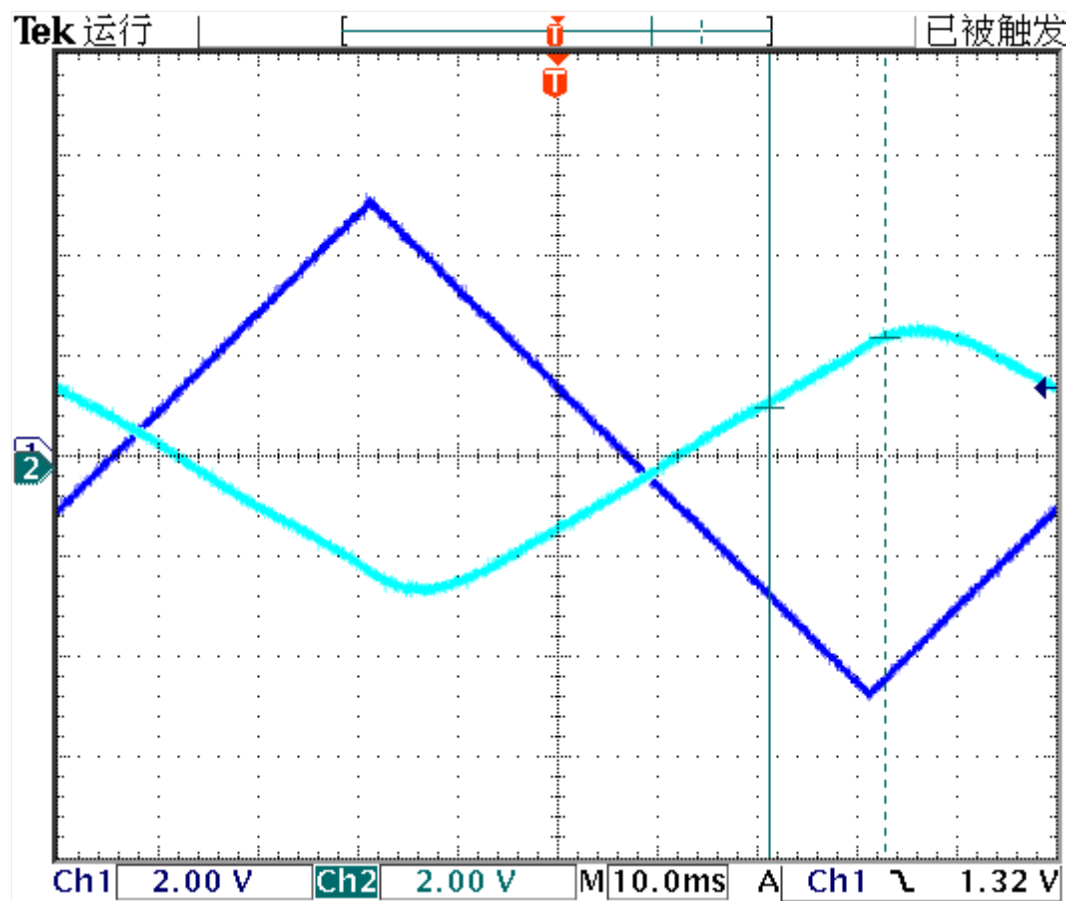
□ $R_{os}=100\Omega$

在輸出信號中，對於運放的輸入信號相當於放大了倍。從觀察上看，電路的增益變小了，但是輸出的波形整體上還是一個三角波形。 $R_3/R_{os} = 1M/100 = 10^4$



□ $R_{os}=22\Omega$

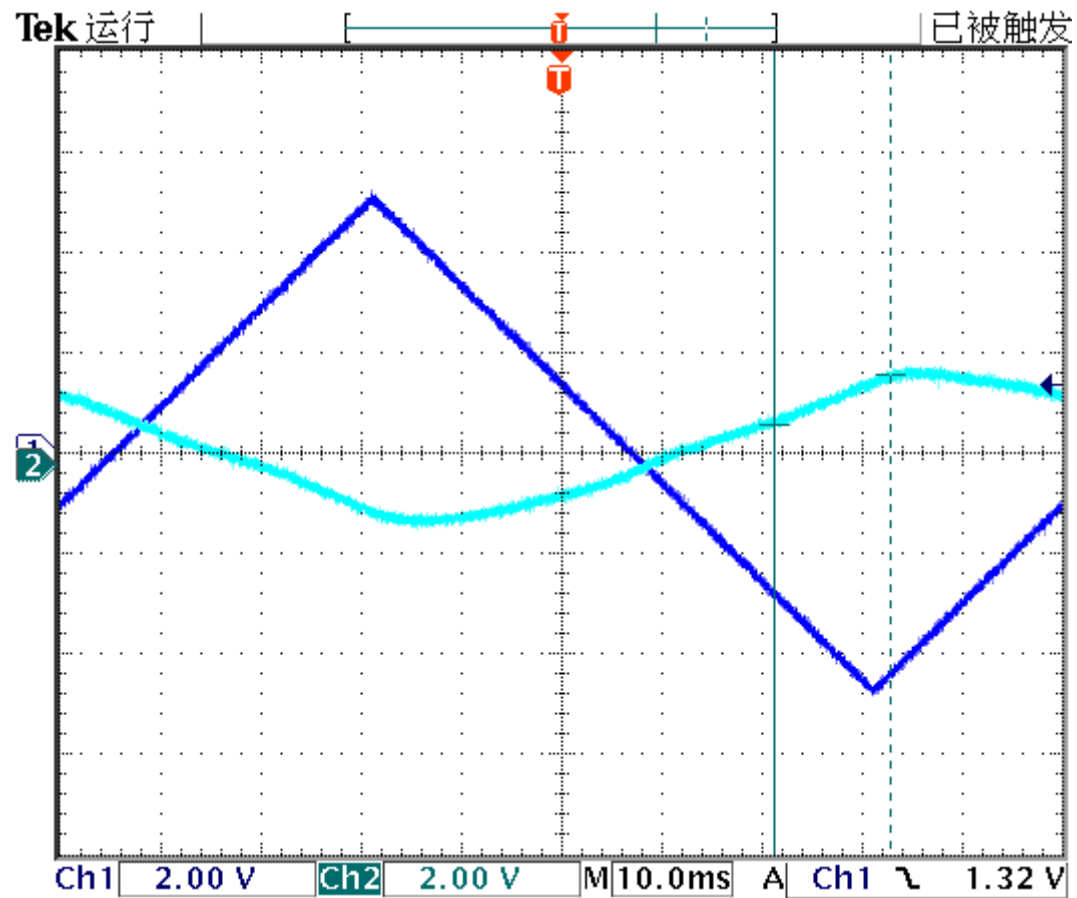
此時電路放大倍數已經降低可-0.5左右。輸出信號的非線性比較明顯了。特別是當信號比較大的時候，也就是輸入信號三角波的定點，對應的輸出信號變得圓滑了。



▲ 輸入（藍色）與輸出（青色）信號

□ $R_{os}=10\Omega$

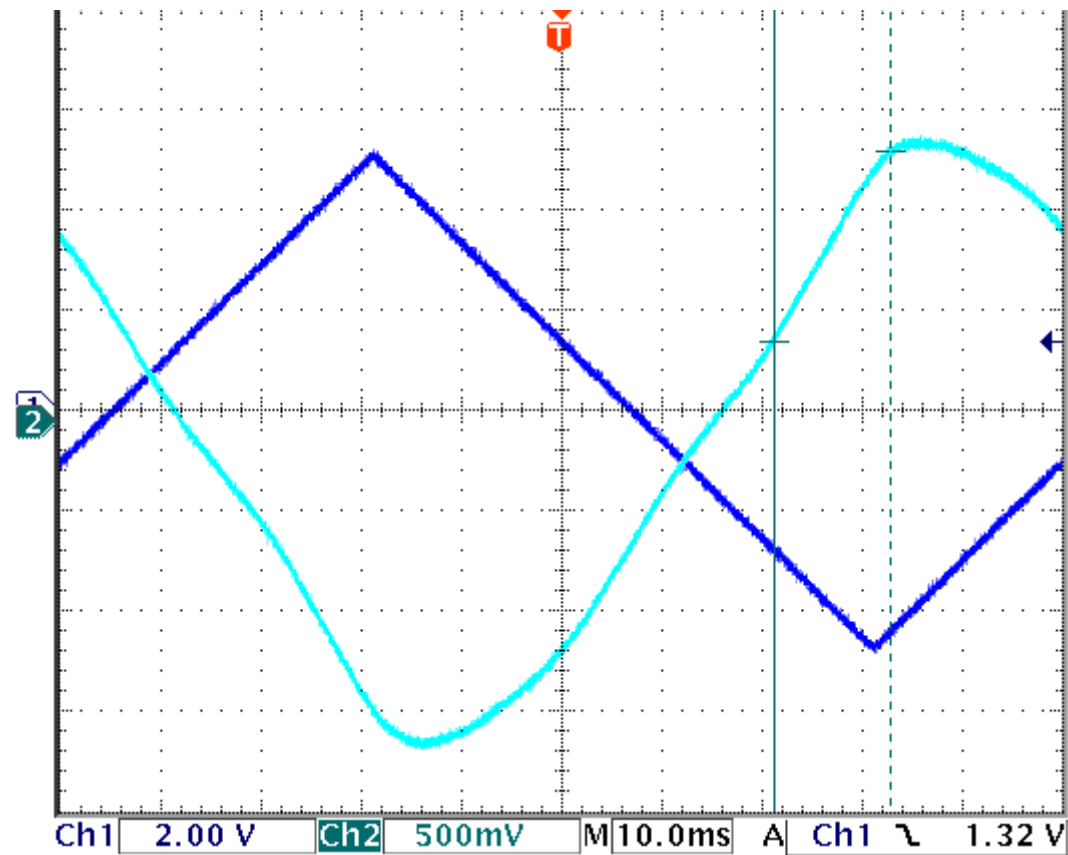
在此偏置分壓電阻下，對於運放輸入電壓相當於放大了，表現在電路的增益更小了。而且輸出電壓變化不再是隨著輸入變化呈現線性變化的關係。 $\cdot 10^5$



▲ 輸入信號（藍色）與輸出信號（青色）

下圖是將輸出信號通過示波器放大之後，可以更加明顯體現出運放的增益中存在的嚴重的非線性。





▲ 輸入信號（藍色）與輸出信號（青色）

結論

通過運放開環增益測量電路看到運算放大器是一個嚴重的非線性器件。在實際應用中是通過電壓反饋來抑制了運放對放大電路的影響。

推荐阅读

玩转嵌入式

👉 运算放大器和比较器有什么区别？

👉 运放选型的15个常见技术指标

👉 元器件拆解：陶瓷滤波器和有源晶振

👉 看漫画，学电子：原来这么简单



玩转嵌入式

專注於單片機、ARM、嵌入式等硬件、軟件設計經驗的分享，並提供一定的技術支持...

613篇原創內容

公眾號

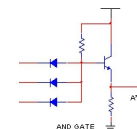
點擊“**閱讀原文**”查看更多分享，歡迎**點分享**、**收藏**、**點贊**、**在看**

閱讀原文

喜歡此內容的人還喜歡

電阻、二極管、三極管搭出的各種邏輯電路

電氣工程及其自動化學習



[更新]做硬件的幾層境界

硬件十萬個為什麼



接地是一門玄學

加油射頻工程師

