

電子電路實驗 7：雙極非線性元件特性曲線之簡單測量

實驗結報

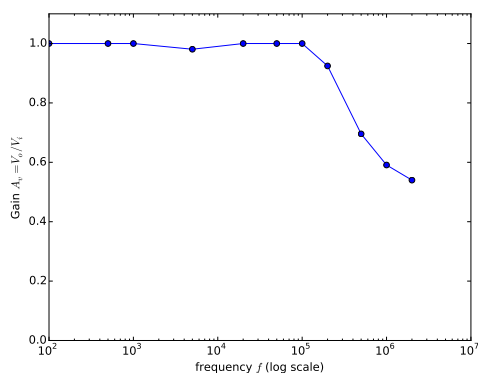
B02901178 江誠敏

December 8, 2014

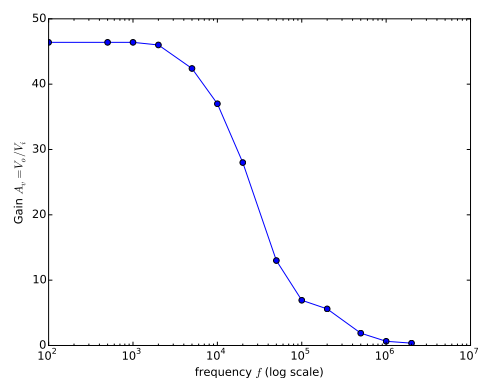
1 實驗結果

由於數據衆多，因此直接以圖表方式呈現。

1.1 Inverting

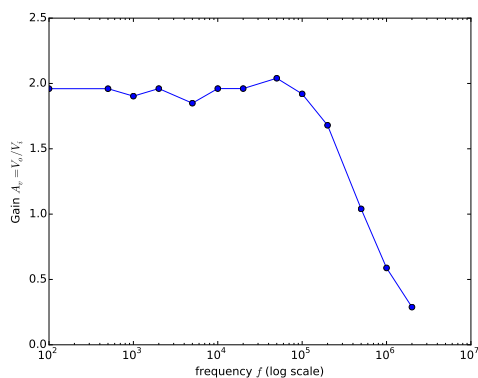


(a) $100\ \Omega$

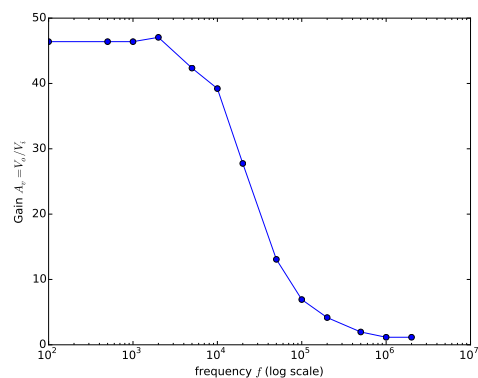


(b) $4.7\text{ k}\Omega$

1.2 Non-Inverting

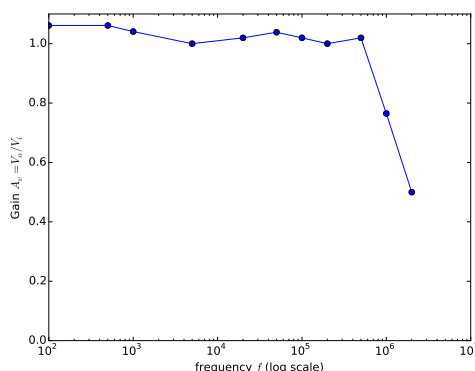


(a) $100\ \Omega$



(b) $4.7\text{ k}\Omega$

1.3 Follower



2 結報問題

1. 何謂 common-mode rejection ratio (CMRR)? 對放大電路有何重要性?

答:

對於一個 Two input terminals, one output terminal 的線性電路，我們可以將輸出電壓寫成

$$V_o = C_1 V_1 + C_2 V_2$$

而這個式子又可以再進一步寫成

$$V_o = A_d(V_1 - V_2) + \frac{1}{2}A_{cm}(V_1 + V_2)$$

其中 A_d 就是 Difference gain, 而 A_{cm} 就是 Common mode gain。可以想作 A_{cm} 是當兩端電壓相同時——也就是共同訊號——的放大倍率。而 A_d 就是兩端電壓差被放大的倍率。我們定義

$$\text{CMRR} \equiv 10 \log \frac{A_d}{A_{cm}}$$

因為在現實中，通常兩個輸入端都會在一個 Voltage Bias 下運作，所以我們關心的是 Difference Gain 的大小，而非 Common mode gain 的大小。並且如果 Common mode gain 太大，還可能使輸出電壓超過放大器的上限。因此我們會希望 A_d 越大， A_{cm} 越小越好，而這個性質恰好可以用 CMRR 來衡量。理論上我們會希望 CMRR 越大越好!

2. 何謂 gain bandwidth product (GBP)? 根據實驗數據，A741 的 GBP 是多少? 請寫出計算過程。

一般一個放大器的放大倍率可以用下列式子描述:

$$A(\omega) = \frac{A_0}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_c})^2}}$$

其中 ω_c 為 3-db frequency。當 $\omega \gg \omega_c$ 時，有

$$A(\omega) \approx \frac{A_0}{\frac{\omega}{\omega_c}} = \frac{A_0 \omega_c}{\omega}$$

所以

$$A(\omega)\omega \approx A_0 \omega_c, \quad \text{if } \omega \gg \omega_c$$

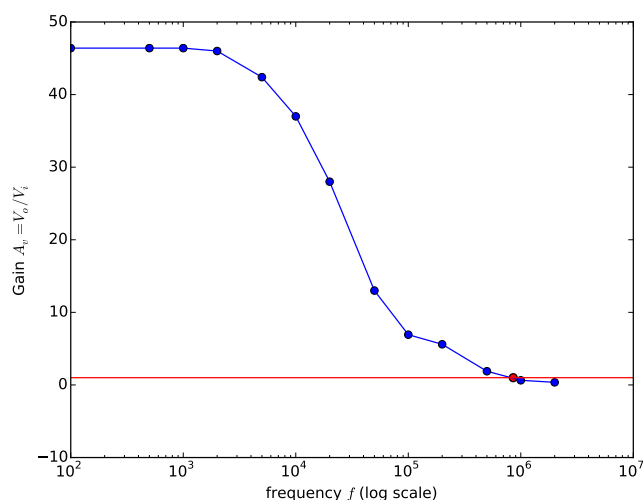
也就是 Gain 和 "Bandwidth" 的乘積差不多是個定值！我們就定義此值為 Gain bandwidth product。而要計算 uA741 的 bandwidth product，我們先選一個適當的 $A(\omega)$ (不可太大)，再回推 ω ，最後計算 $A(\omega)\omega$ 。就拿 Inverting $100\ \Omega$ 當例子。為了方便我們不妨令 $A(\omega) = 1$ ，接著我們計算此時的 V_o/V_i 為多少 (V_o/V_i 不見得等於 $A(\omega)$!)，可以列出

$$A(\omega) \left(0 - \frac{V_o + V_i}{2} \right) = V_o \Rightarrow V_o = -\frac{1}{3} V_i$$

因此我們對表找什麼時候 V_o/V_i 降到 $1/3$ 就可以知道答案！而當然，我們可以選則用 Inverting $4.7\ \text{k}\Omega$ 比較好算，在 $A(\omega) = 1$ 時

$$A(\omega) \left(0 - \frac{V_o + 47V_i}{48} \right) = V_o \Rightarrow V_o = \frac{-47}{49} V_i \approx V_i$$

因此我們找到 $V_o/V_i = 1$ 的頻率，用內差法差不多是 $8.5 \times 10^5\ \text{Hz}$ ，所以 $\text{GBP} \approx 8.5 \times 10^5 \cdot 1 \approx 8.5 \times 10^5$



3. 在增益同樣為 1 的情況下，反相放大器與電壓隨耦器何者頻寬較大？為什麼？

同上一題的計算方式，不妨都假設 $A(\omega) = 1$ ，此時反相放大器在上一題已經計算過，倍率為 $-1/3$ ，而對於 Follower：

$$A(\omega)(V_i - V_o) = V_o \Rightarrow V_o = \frac{1}{2} V_i$$

因此反相的 GBP 為 $\frac{1}{3}\omega$ ，Follower 為 $\frac{1}{2}\omega$ ，所以 Follower 的頻寬較大！與實驗的結果相符。

4. 實驗中 v_i 的峰對峰值為 100mV，是否可以改用 1V？為什麼？

最好不要！因為在 Inverting 4.7 k Ω 的輸出放大倍率為 47 倍，如果用 1 V，表示輸出電壓可達到 47 V，遠超過供給電壓 $V_{CC} = 15\text{ V}$ ！

5. 實際的運算放大器，其開路 3dB 頻寬 (open-loop 3dB-bandwidth) 都非常小，這非常小的頻寬的現象其實是刻意要這樣設計的，為什麼？

根據第二題， $A_0\omega_c = \text{const}$ ，其中 A_0 是在低頻的放大倍率， ω_c 是 3db frequency。但運算放大器的開路放大倍率通常都要非常大，作為犧牲， ω_c 就只能小囉。

3 心得

這次的實驗真的是燒 uA741 大賽，因為有說如果燒壞的話，成績就從 B 起跳，因此我一開始都不太敢亂動，不過才沒多久，四處早已是 IC 燒焦的味道。就看到旁邊的人急急忙忙在搨風，然後趕緊去找多的 uA741。其實後來發現線路不要接錯，電源慢慢從小開到大，似乎也沒那麼容易燒壞 uA741。