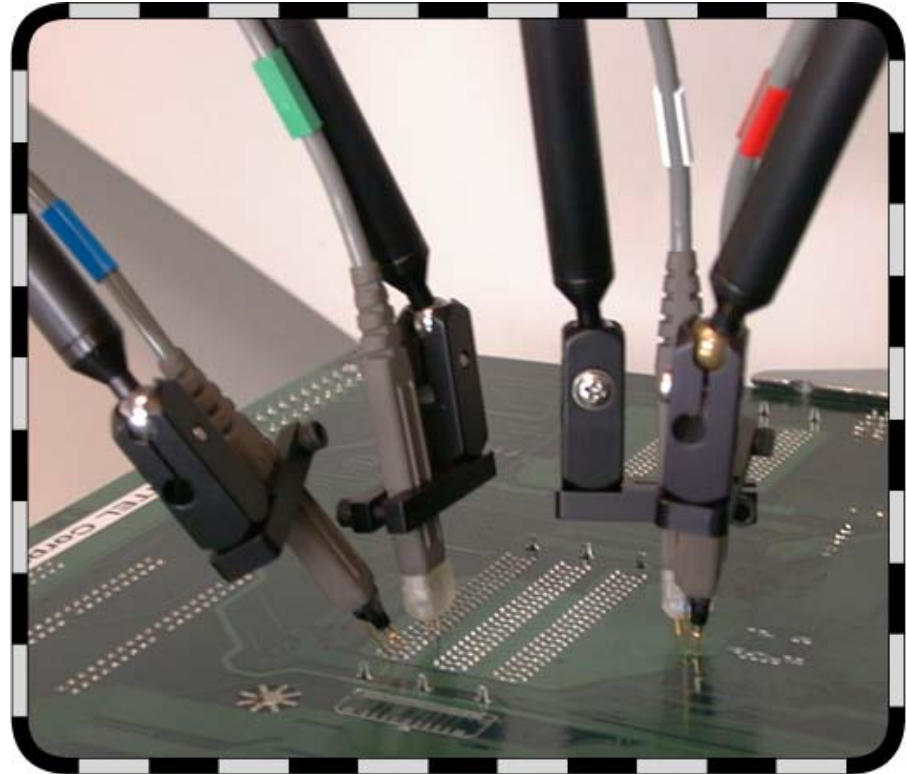


探棒的原理及種類

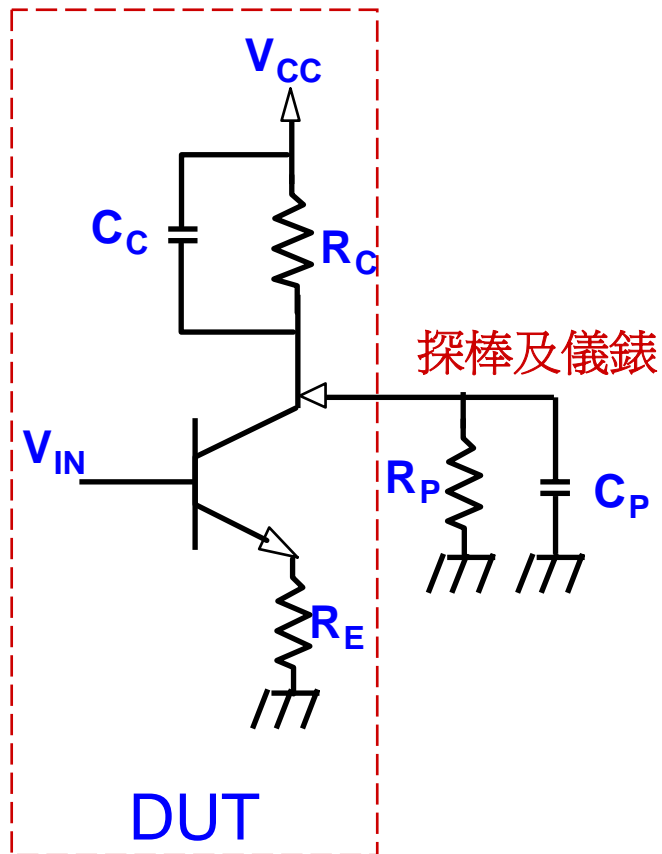
- ▶ 示波器功能的延伸
- ▶ 影響量測的準確性
- ▶ 不同的應用, 搭配不同的探棒
- ▶ 探棒的種類
 - 電壓
 - 電流
 - 光/電轉換 (O/E)
 - 邏輯
 - 物理量: 溫度, 壓力...



探棒如何影響測量精確度

- ▶ 要得到適當的測量結果，測量附件必須跟儀錶及待測物 **(DUT)** 密切配合。須考量的項目包括：
 - 被量測的訊號形式(電壓、電流、邏輯、其他)
 - 訊號頻率內容(DC, Hz, kHz, MHz)
 - 訊號源阻抗(電阻、電容、電感)
 - 實體連接考量(DUT及儀錶)
 - 儀錶輸入阻抗 (50 ohm, 1 Mohm, 其他)
 - 儀錶頻寬或上升時間

探棒如何影響測量系統



NOTE: V_{CC} 為交流接地

- ▶ 不具探棒及儀錶

$$\text{Gain} = \frac{-R_C}{R_E}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_C C_C}$$

- ▶ 具探棒及儀錶

$$\text{Gain} = \frac{-(R_C || R_P)}{R_E}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi (R_C || R_P)(C_C + C_P)}$$

探棒頻寬 v.s. 系統頻寬

- ▶ 示波器的量測中，探棒是必備的，所以探棒頻寬亦會影響測量結果，其上升時間影響公式如下：

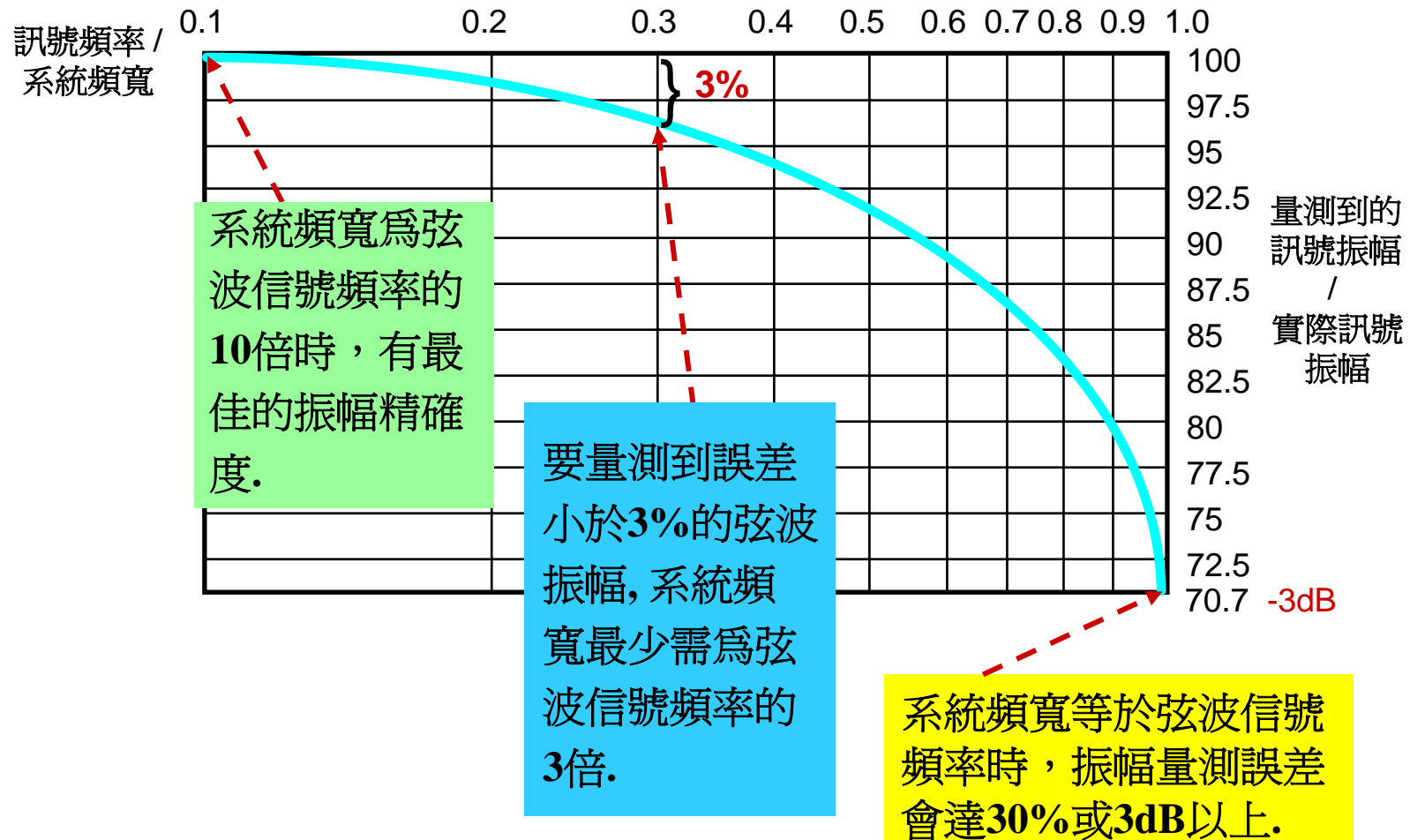
$$\text{量測值}_{\text{上升時間}} = \sqrt{(\text{訊號}_{\text{上升時間}})^2 + (\text{示波器}_{\text{上升時間}})^2 + (\text{探棒}_{\text{上升時間}})^2}$$

- ▶ 由於頻寬和上升時間成倒數關係故其頻寬公式如下：

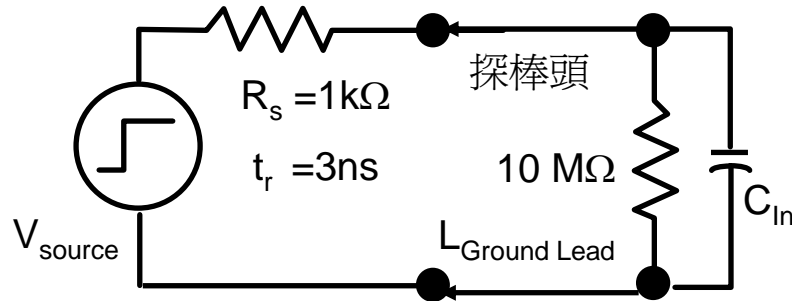
$$\frac{1}{\text{量測頻寬}} = \sqrt{\left(\frac{1}{\text{訊號頻寬}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\text{示波器頻寬}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\text{探棒頻寬}}\right)^2}$$

- ▶ 由此式也可看出，示波器及探棒的頻寬越寬，則對量測頻寬的影響越小，也就是說量測頻寬越接近訊號頻寬

系統頻寬 v.s. 正弦波振幅



探棒輸入電容及訊號源阻抗

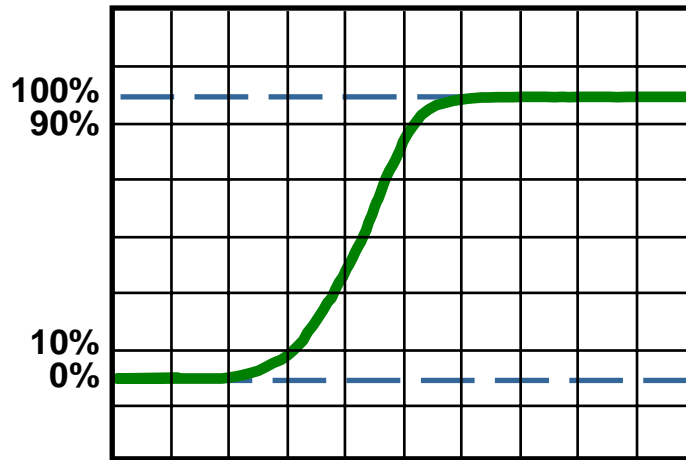


電容負載 C_{in}
使上升時間 t_r
增加

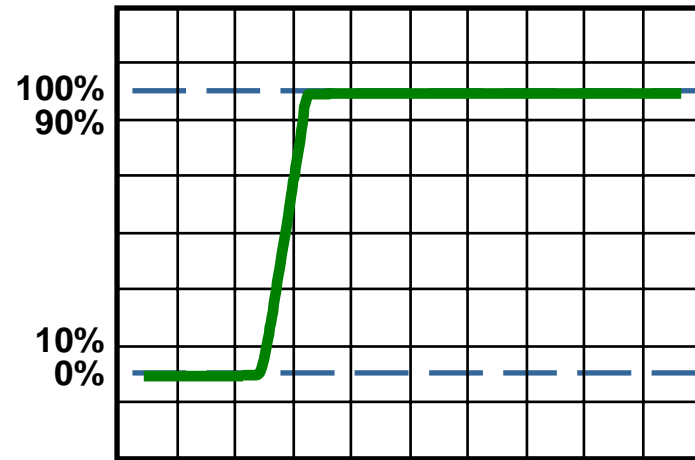
$$t_r \approx 2.2 (R_s * C_{in})$$

$$C_{in} = 100pF \approx 220 ns (1X \text{ 探棒})$$

$$C_{in} = 10pF \approx 22 ns (10X \text{ 探棒})$$



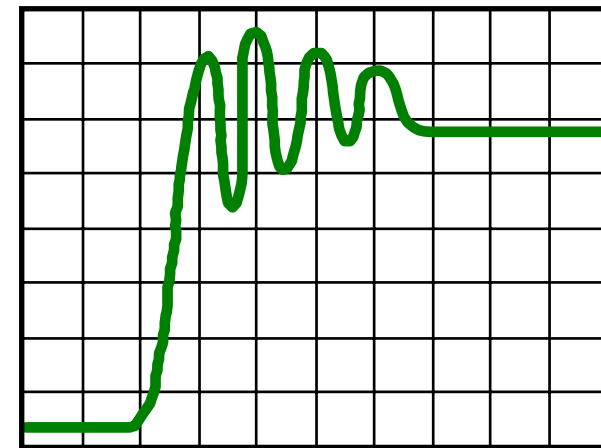
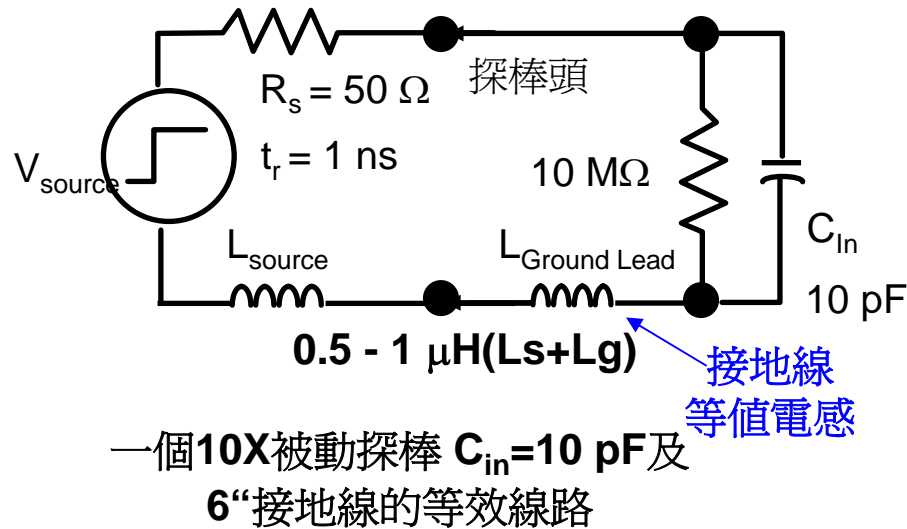
● 1X 被動探棒的上升時間波形



● 10X 被動探棒的上升時間波形

探棒接地線的電感效應

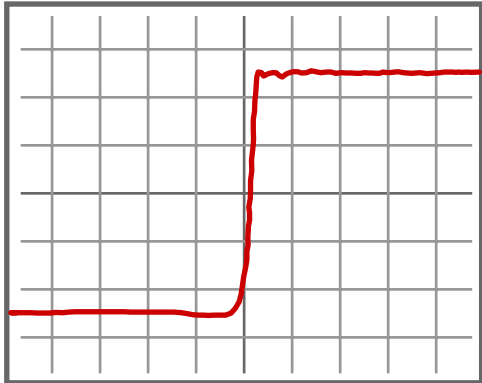
- ▶ 電感效應造成阻抗不匹配，頻寬越寬影響越大
- ▶ 接地線的長短會影響電感效應的大小，結果會產生脈波訊號的漣波



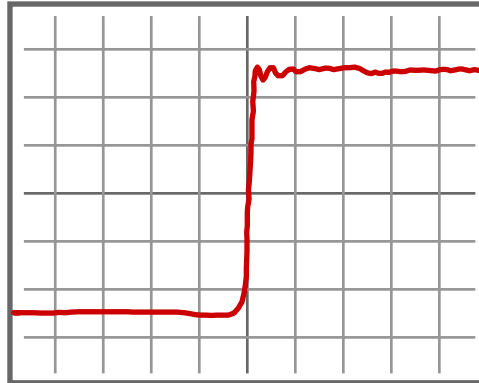
左側等效線路的探棒所造成的漣波

典型6“接地線探棒所造成的的漣波頻率 = $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ = **50 - 70 MHz** 或 **$t_r = 7 - 5\text{ ns}$**

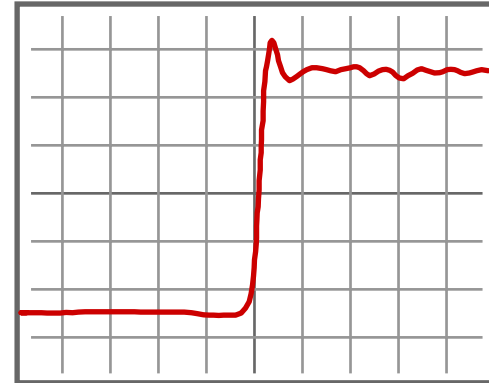
探棒接地線的電感效應



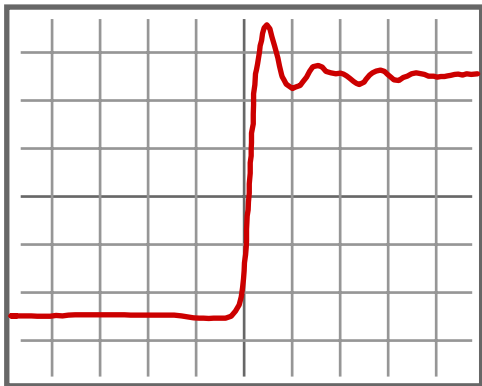
電纜線直接連接



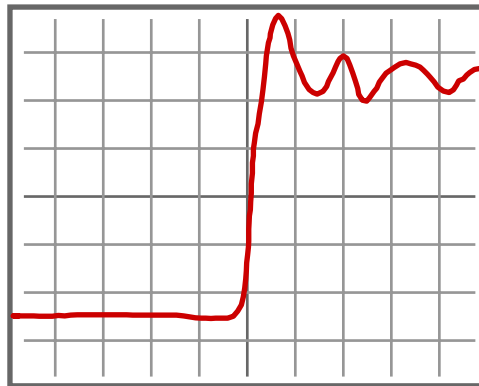
BNC 探棒頭連接



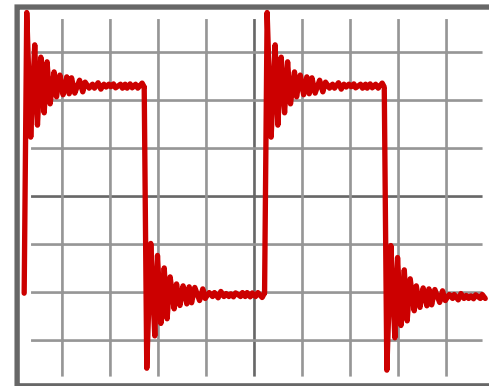
1" 接地線



3" 低阻抗接地線



6" 接地線



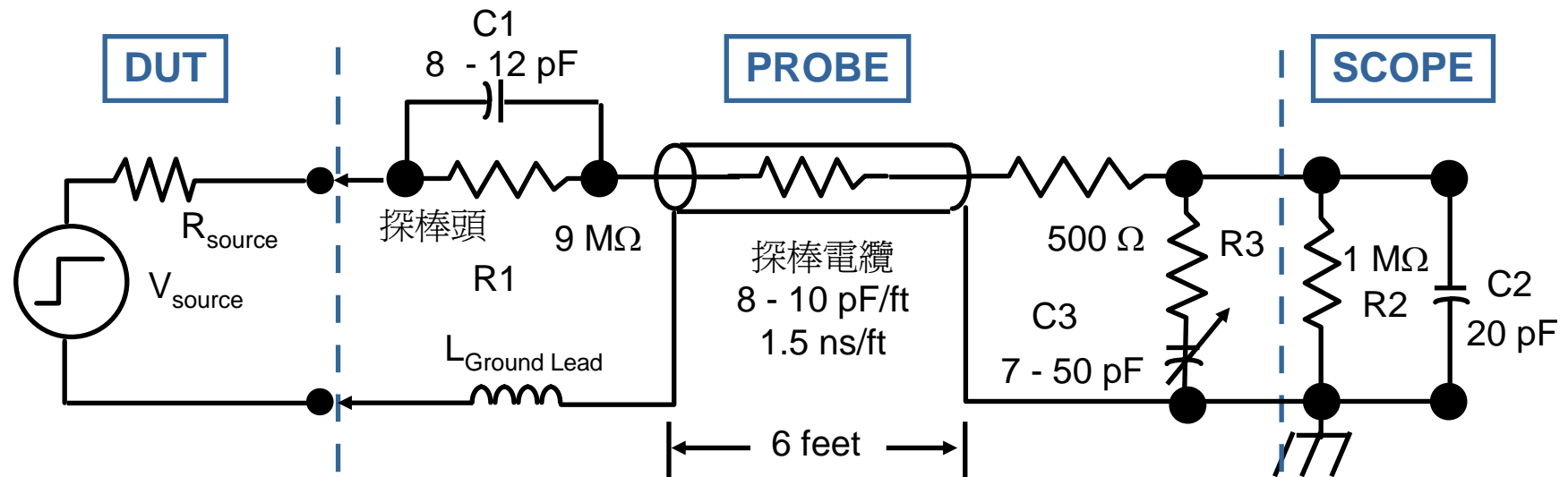
未接接地線

探棒傳輸延遲

測量時序、功率、及延遲時重要的考量

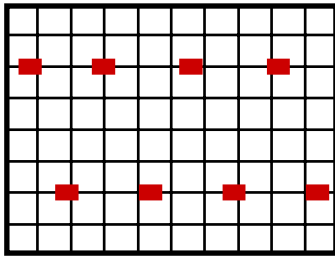
- ▶ 典型的探棒延遲範圍在 **4 ns 到 8 ns**
- ▶ 不同的探棒會造成不同的延遲，需用示波器“**deskew**”的功能來消除探棒的延遲
- ▶ 同型探棒間的延遲應越小越好，典型的應在 **200 ps 之內**

被動探棒的低頻(LF)補償

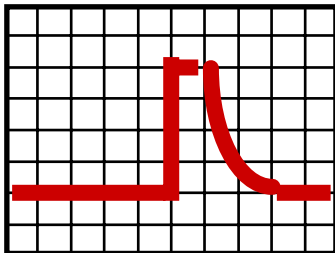


被動探棒的低頻(LF)補償

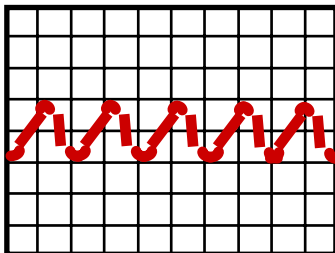
正確補償



1 ms/div

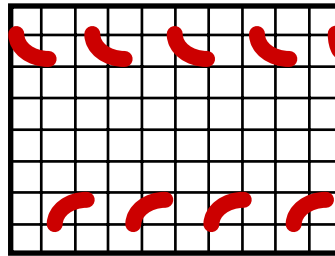


1 μ s/div

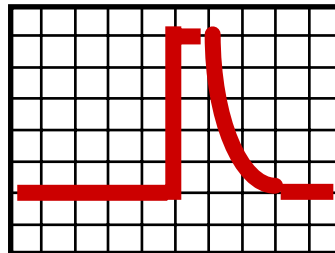


50 kHz

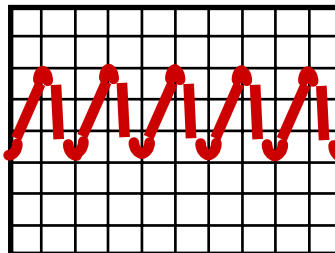
過補償



1 ms/div

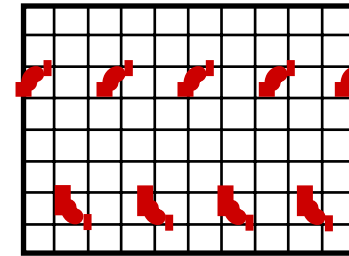


1 μ s/div

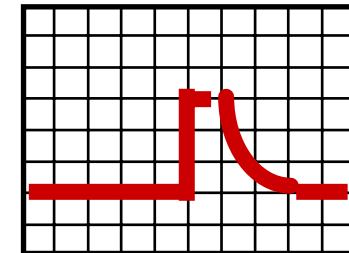


50 kHz

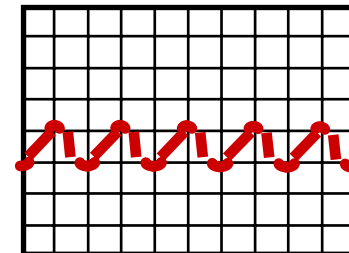
補償不足



1 ms/div

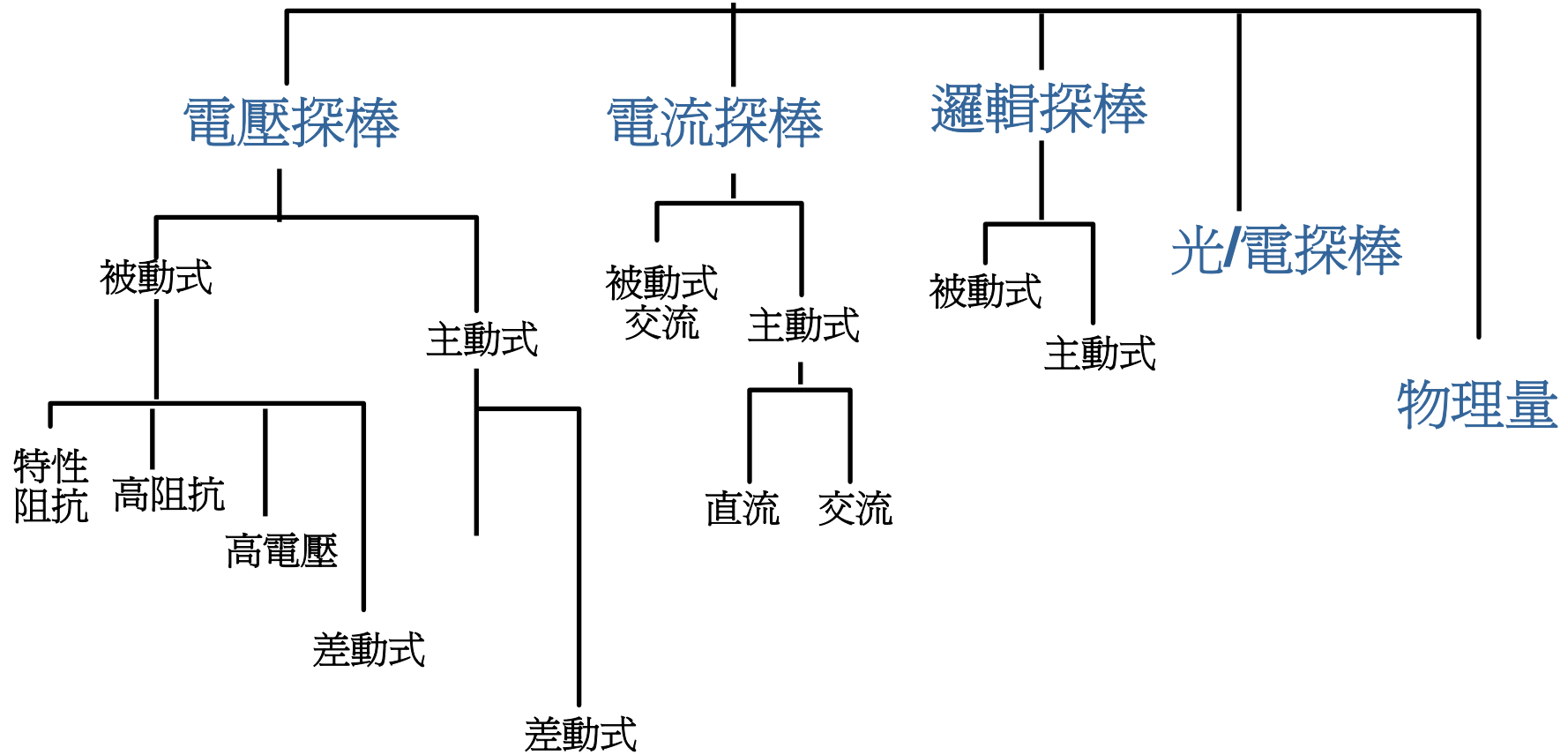


1 μ s/div



50 kHz

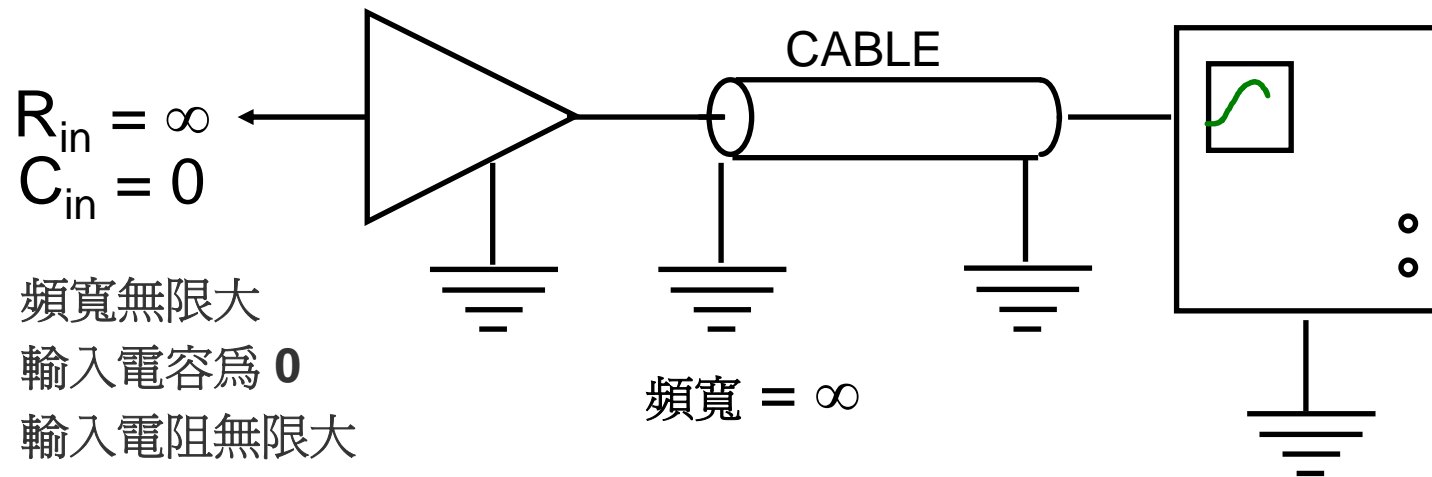
探棒的種類



理想電壓探棒

理想的電壓探棒模型

- 理想的探棒是沒有負載效應, 也就是不對測量造成任何影響

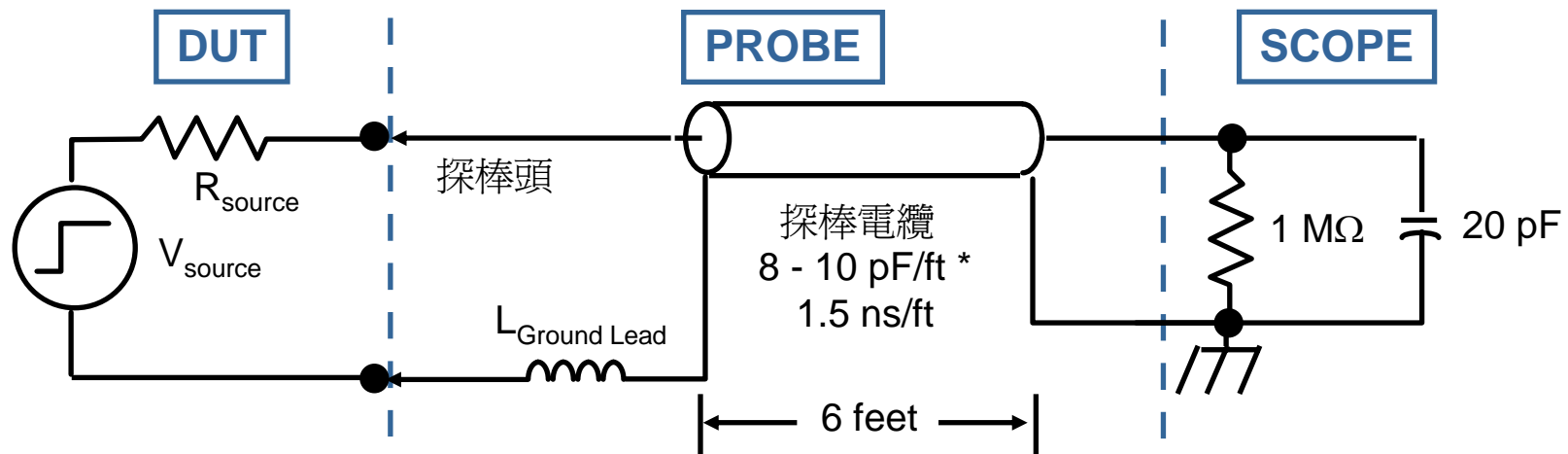


- 頻寬無限大
- 輸入電容為 0
- 輸入電阻無限大
- 動態範圍無限大(Dynamic Range)
- 1:1衰減
- 無延遲
- 無相位偏移(Phase Shift)
- 機械結構適合測量應用

電壓探棒典型的規格

型式	頻寬	上升時間	輸入電容	輸入電阻
1X 被動探棒	15 MHz	23 ns	100 pF	1 M Ω
10X被動探棒	100 MHz - 500 MHz	3.5 ns - 700 ps	13 pF - 8 pF	10 M Ω
Z0被動探棒	3 GHz - 9 GHz	120 ps - 40 ps	1 pF - 0.15 pF	500 Ω
主動探棒	500 MHz - 4 GHz	700 ps - 100 ps	2 pF - 0.4 pF	10 M Ω - 100 k Ω

1X 電壓探棒 -- 被動式



優點：

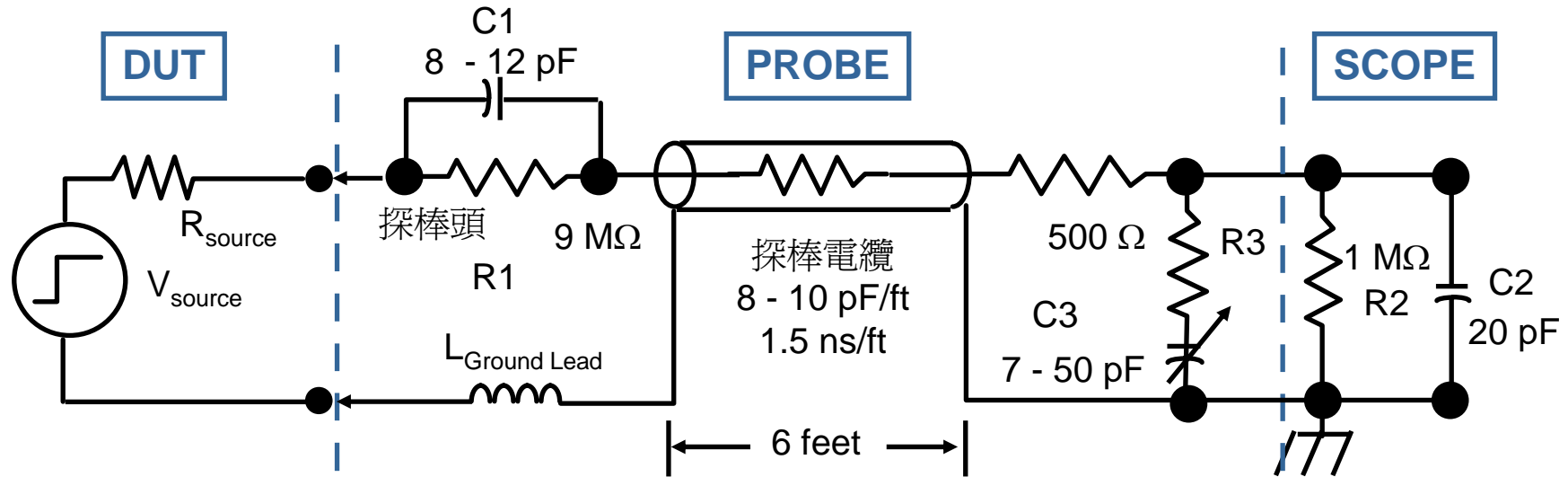
- 1X 沒有衰減
- 價格便宜

缺點：

- 高反射量
- 輸入電容太大
- 低頻寬

* 典型 50 Ω 電纜約有 30 pF/ft 的電容量

10X 電壓探棒 -- 被動式



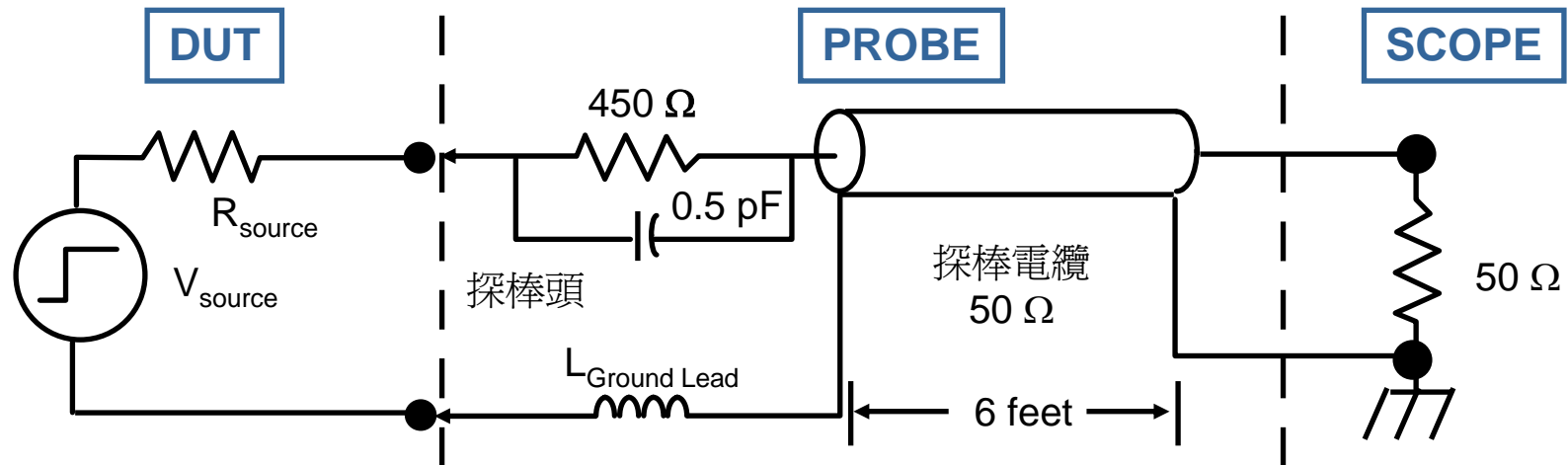
優點：

- 高輸入電阻
- 寬動態範圍
- 價格合理
- 機械結構堅固
- 比1X探棒的輸入電容低

缺點：

- 輸入電容仍太高
- 跟50 Ω系統不相容
- 必須補償

50 Ω 10X 電壓探棒-- 被動式



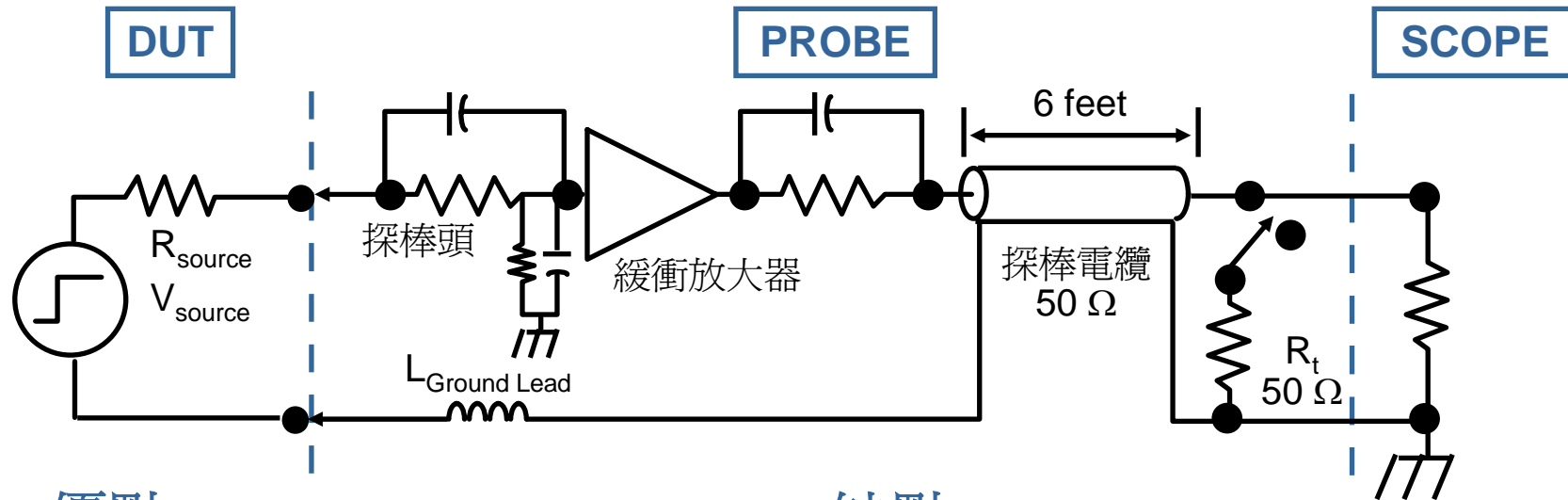
優點：

- 低輸入電容
- 寬動態範圍
- 加上終端電阻跟50 Ω及1M Ω系統相容
- 無須補償

缺點：

- 低輸入電阻
- 必須有50 Ω的終端

10X 電壓探棒-- 主動式



優點：

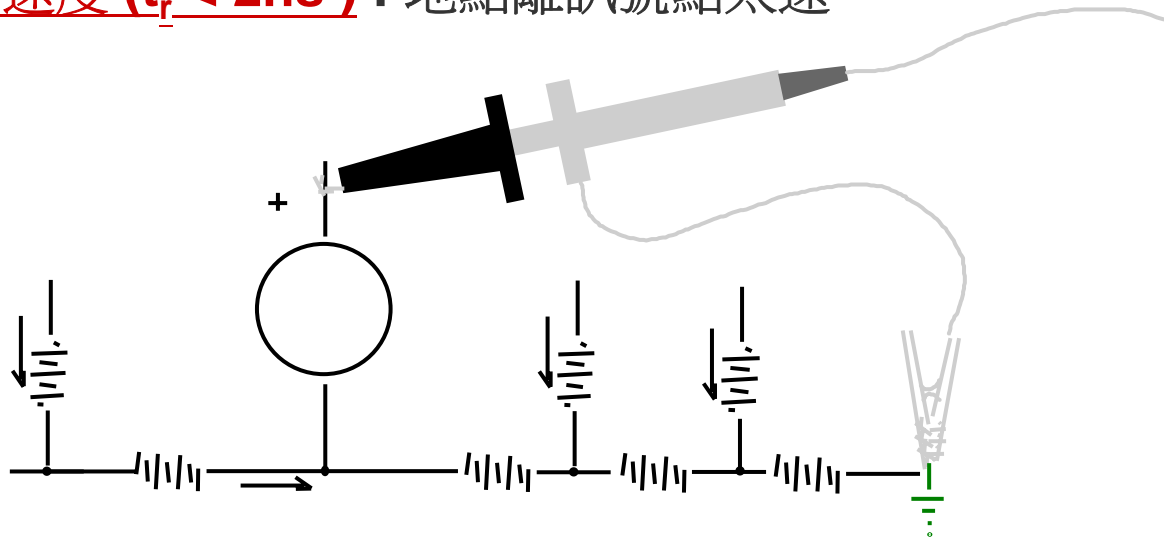
- 低輸入電容
- 寬動態範圍
- 高輸入電阻
- 加上終端電阻跟50 Ω 及1M Ω 系統相容
- 無須補償

缺點：

- 高價位
- 動態範圍有限
- 機械結構較不堅固
- 須額外的電源

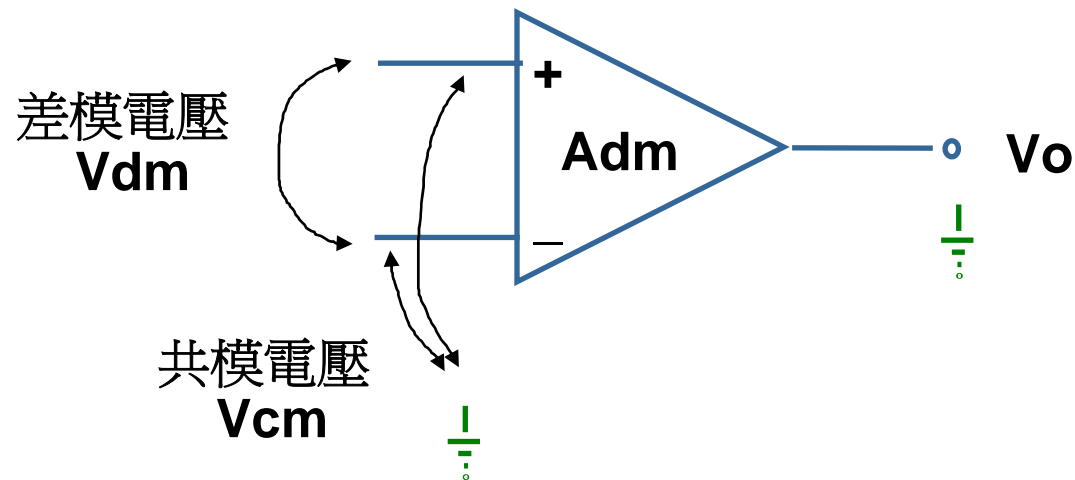
何時使用差動式電壓探棒

- ▶ 不以地點為參考點
 - 浮動點(Floating)測量
 - 平衡(Balanced)訊號
- ▶ 地點並不是很好的參考點時
 - 低振幅 (<10 mV) : 地點雜訊大於訊號振幅
 - 高速度 ($t_r < 2\text{ns}$) : 地點離訊號點太遠



共模及差模

- ▶ 共模(Common Mode)電壓 V_{cm} 及共模增益 A_{cm} :
 - 兩個輸入端對地的電壓差為 V_{cm} ，經過差動放大器後的增益為 A_{cm}
- ▶ 差模(Differential Mode)電壓 V_{dm} 及差模增益 A_{dm} :
 - 兩個輸入端間的電壓差為 V_{dm} ，經過差動放大器後的增益為 A_{dm}



共模互斥比(CMRR)

▶ **CMRR(Common Mode Rejection Ratio) :**

差模增益 A_{dm} 跟共模增益 A_{cm} 的比值，即

$$\underline{CMRR = A_{dm}/A_{cm}}$$

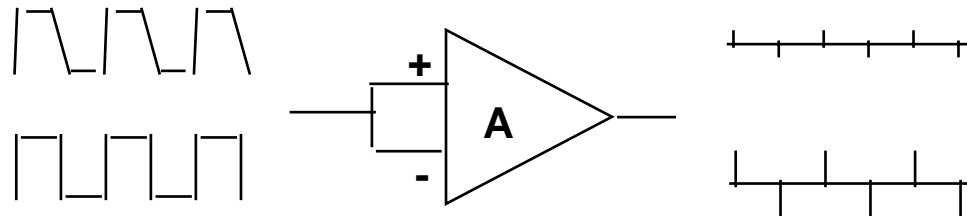
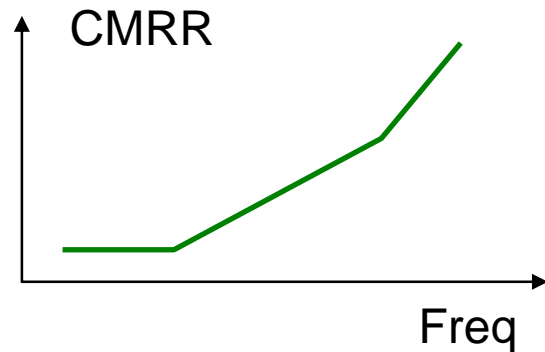
或

$$\underline{dB(CMRR) = 20\log(A_{dm}/A_{cm})}$$

若 A_{cm} 趨近於零，則 $CMRR$ 趨近無限大，代表一理想的差動放大器
所以針對差動式探棒而言 $CMRR$ 值越大越好

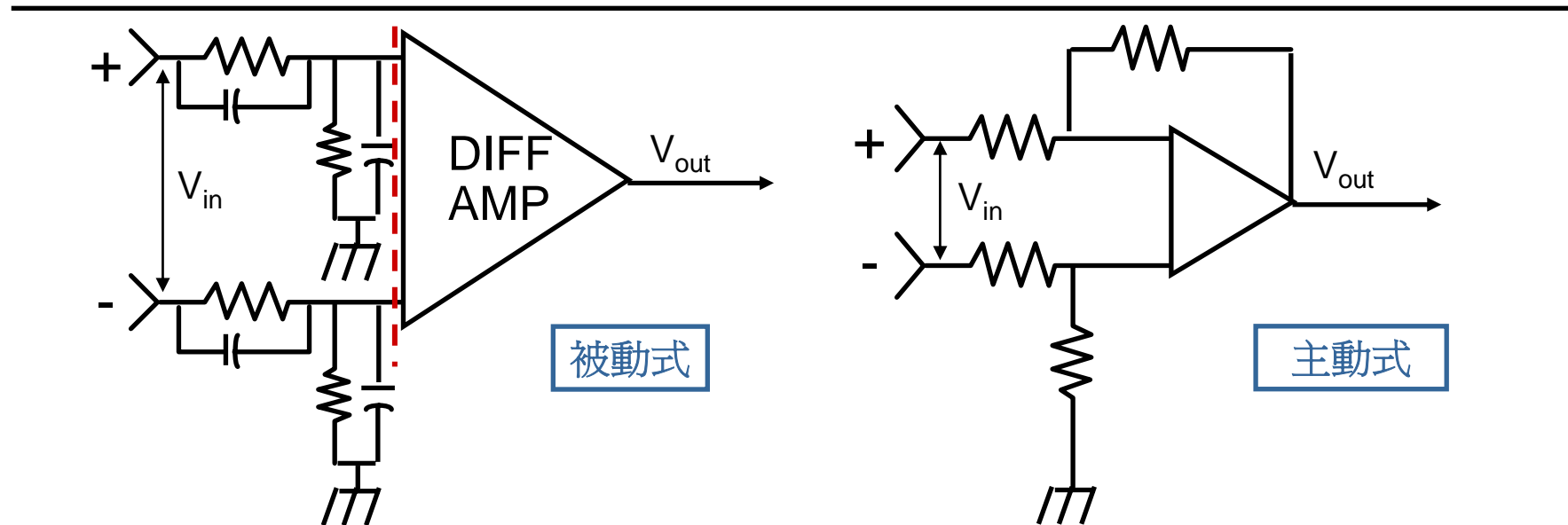
CMRR的規格

- ▶ **CMRR**值越大越好一般在**60dB(1000:1)**附近
- ▶ 隨著頻率增加**CMRR**會逐漸減小



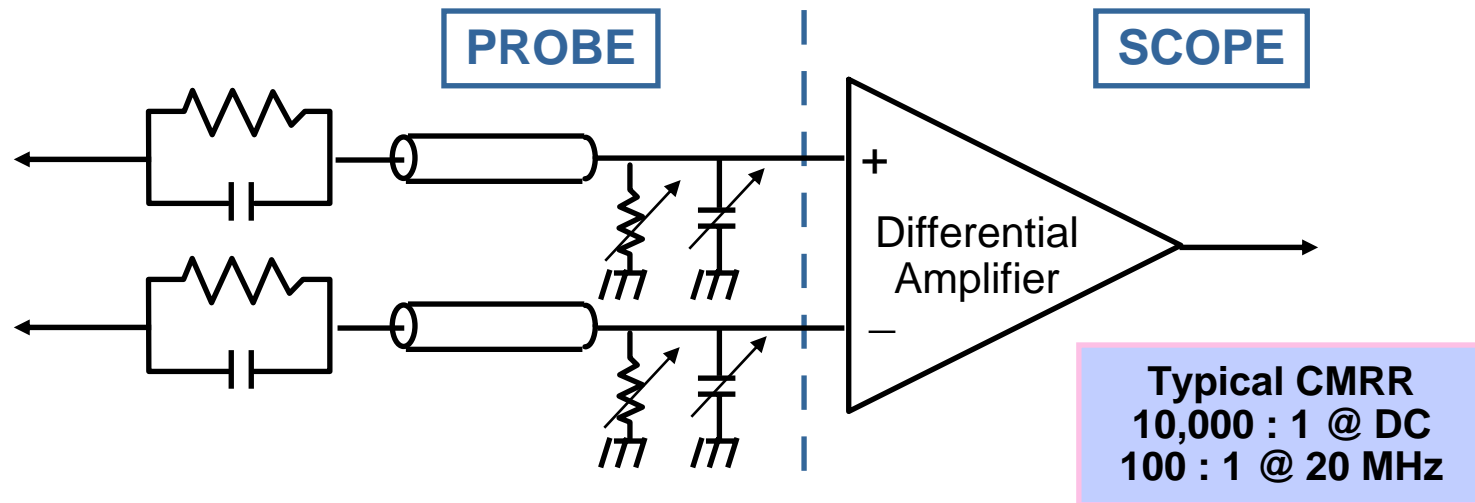
越快的邊緣會產生更多的共模電壓

電壓探棒-- 差動式



- ▶ 被動差動式探棒必須將兩支探棒的延遲、衰減、及補償，做精準的調校。
- ▶ 假如沒有做精準的調校，**CMRR**將會嚴重的下降。
- ▶ 主動差動式探棒由於具**OP**放大器做緩衝，因此不須要做這些調校。

電壓探棒-- 被動差動式



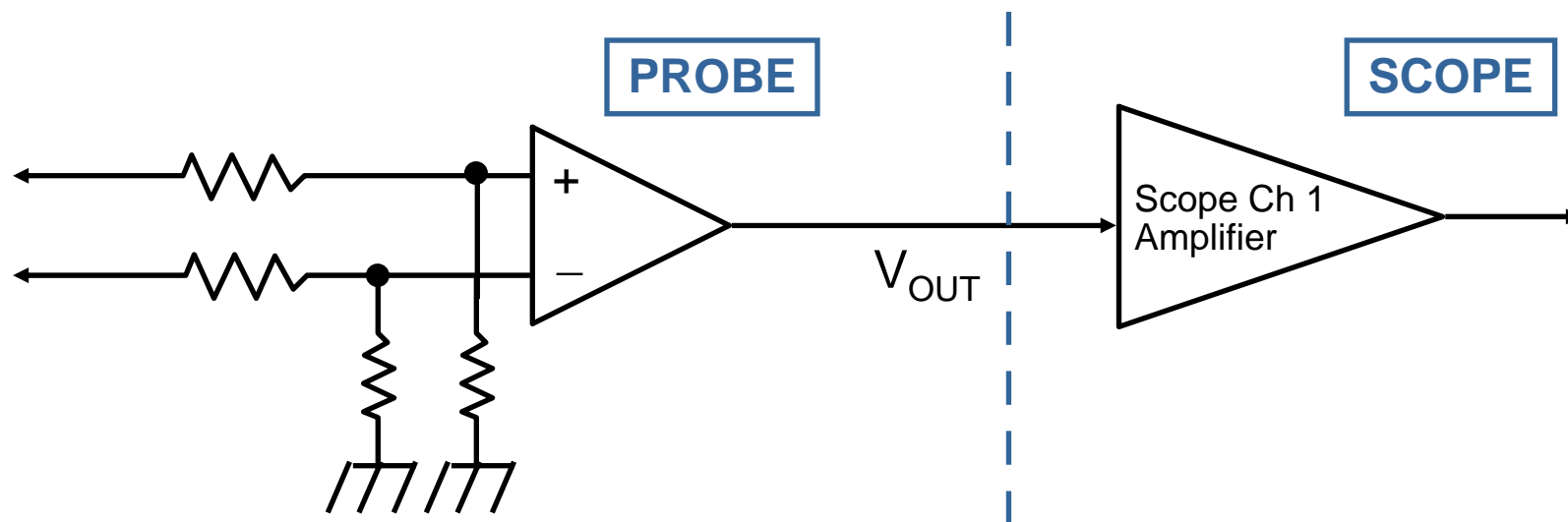
優點：

- 比被動式探棒的**CMRR**高
- 寬動態範圍
- 機械結構堅固
- 兩支探棒可以作較遠的分離

缺點：

- 須要兩個不同的輸入
- 跟**50 Ω**系統不相容
- 須補償

電壓探棒-- 主動差動式



優點：

- 低輸入電容
- 比被動差動式探棒的**CMRR**高
- 跟**50 Ω**及**1M Ω**單端(**Single-ended**)系統相容
- 探棒頭非常小

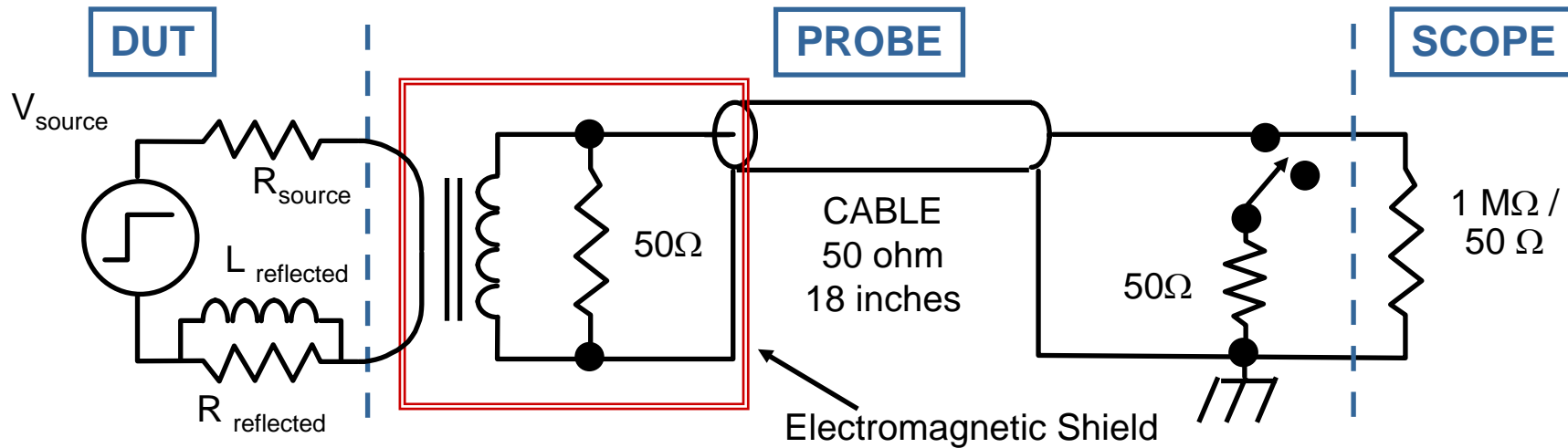
缺點：

- 高價位
- 有限的動態範圍
- 須額外的電源

電流探棒的特性

- ▶ 探棒的交流反應，依據變壓器的動作，將電流轉為電壓
- ▶ 直流測試，須在變壓器上加一霍爾效應 (**Hall Effect**)感應器
- ▶ 兩種型式可用：
 - 固定核心(Fixed Core) - 須要打開導體(**conductor**)來連接
 - 分離核心(Split Core) - 允許直接附在導體上(**clipping around**)
- ▶ 以極低的嵌入阻抗(**L reflected & R reflected**)，使 DUT的電容性負載達到最小
- ▶ 提供電子絕緣，允許無參考地點量測

電流探棒-- 被動式



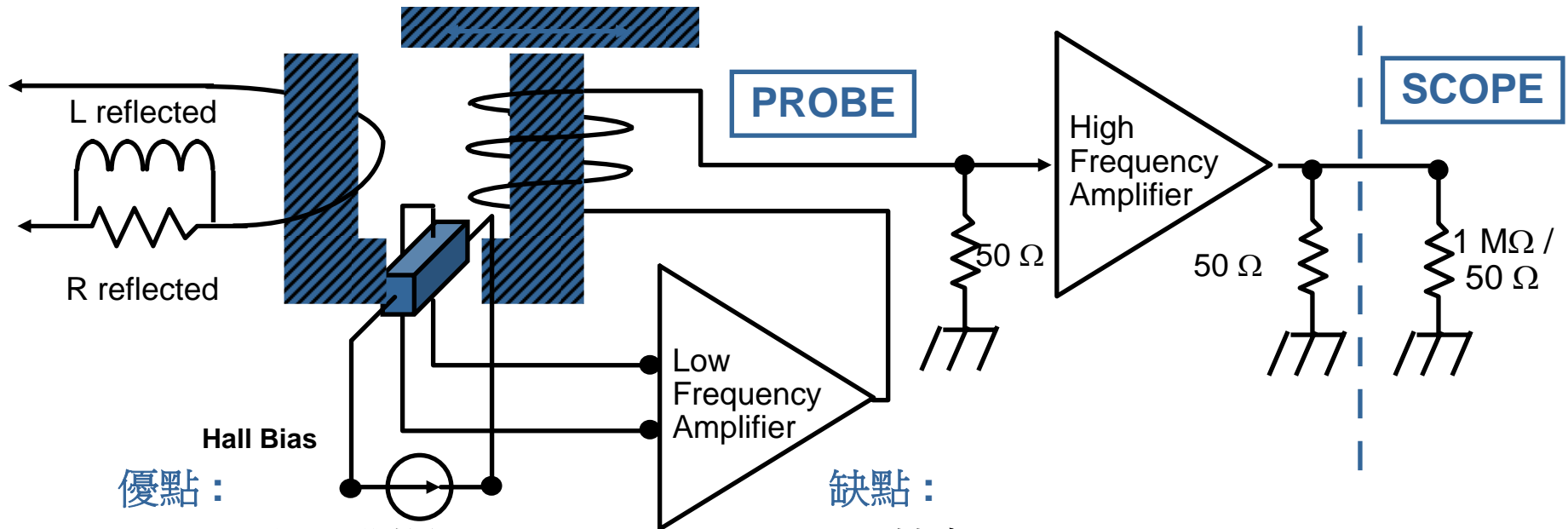
優點：

- 寬的 **AC** 頻寬
- 價格不貴
- 提供電子絕緣
- 低 **DUT** 負載
($R_{reflected}$ 典型 1 to 2 Ω
 $L_{reflected}$ 典型 5 μH)

缺點：

- 只能測量 **AC**
- 固定核心須要打開導體連接
- 直流電會使核心飽和

電流探棒-- 主動式



優點：

- AC 及 DC 測量
- 跟 50 Ω 及 1M Ω 單端(Single-ended)系統相容
- 提供電子絕緣
- 低 DUT 負載
($R_{\text{reflected}}$ 典型 $\ll 1 \Omega$
 $L_{\text{reflected}}$ 典型 $< 5 \mu\text{H}$)

缺點：

- 較貴
- 機械結構較不堅固
- 體積較大
- 須額外的電源

結論

- ▶ 探棒一定有負載
- ▶ 被動探棒一定要做補償
- ▶ 系統頻寬包括示波器探棒及待測訊號
- ▶ 精確的測量量測工具的系統頻寬最好是待測訊號的**3到5**倍
- ▶ 盡可能使用低輸入電容及短地線
- ▶ 使用適當的連接方式接觸測試點