

設計計算工作室I



主講人 姓名 張琪

Name Zhang Qi

澳門城市大學

City University of Macau

考核要求

- 課後書面作業(30%)
- 出勤 (10%)
- 書面報告(60%)
 - 書面報告應不超過十頁A4紙,參考給定的實驗報告格式和模板。
 - 單次的實驗書面報告不超過十頁,如兩次實驗合幷的 書面報告不應超過二十頁。

參考教材

- 周舸.計算機導論(第2版).人民郵電出版社,2023
- 黃仙山.大學物理(上冊).人民郵電出版社,2020
- ●歐陽星明.數字電路邏輯設計(第3版)(微課版), 2021
- 大學物理實驗虛擬仿真在綫資料
- 中國大學MOOC在綫資料
- 范澤良、吳政江、王永奇. 電子測量與儀器,清華大學出版社,2010

實驗目的

本實驗是瞭解電子示波器的基本原理和使用方法

- 1. 電子示波器概述
- 2. 通用示波器
- 3. 取樣示波器
- 4. 數字存儲示波器
- 5. 示波器的基本測量技術和方法

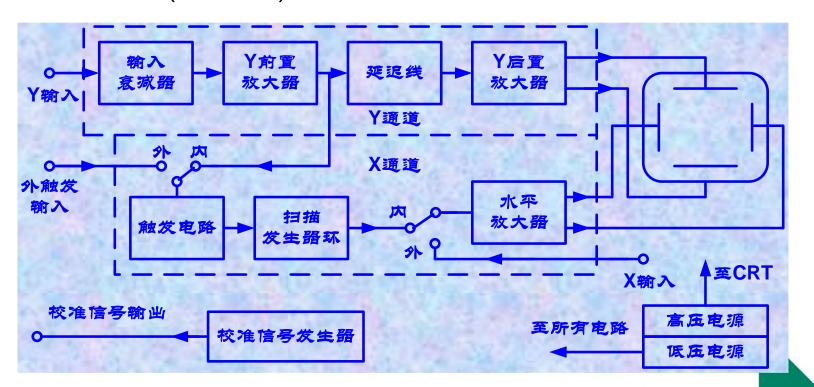
- 1.1 電子示波器概述
- 電子示波器的功用
- 電子示波器又稱示波器。它是利用電子示波管顯示被測信號波 形的一種電子測量儀器
- "百聞不如一見",示波器能够把人類肉眼無法直接觀測的電信號,轉換成人類肉眼可以看見的波形,幷顯示于屏幕上,以便于對信號進行直觀的、定性的、定量的觀測,它所提供的直觀的視覺效果是其他儀器無法替代的。示波器是一種廣泛應用的電子測量儀器,普遍地應用于國防、科研、學校以及工業、農業、商業等各個領域
- 隨著電子技術的不斷發展,現在的示波器除了用來觀測信號波形外,還可以測量信號的電壓、周期、頻率、相位、調幅係數等;把它與傳感器結合,還能對溫度、壓力、密度、聲、光、磁效應等各種非電量進行測量

- 1.1 電子示波器概述
- 電子示波器的特點與分類
- 電子示波器的特點
- 作爲通用的電子測量儀器,電子示波器具有如下特點:
- ① 具有良好的直觀性,既可用于顯示信號波形,又可用來測量信號的瞬時值;
- ② 靈敏度高、工作頻率範圍寬、速度快,給觀測瞬變信號的細節帶來很大方便;
- ③ 輸入阻抗高,其值都在兆歐級,所以對被測電路的影響很小;
- ④ 是一種良好的信號比較器,可顯示和分析任意兩個量 之間的函數關係

- 1.1 電子示波器概述
- 電子示波器的特點與分類
- 電子示波器的分類
- 電子示波器的種類和型號繁多,根據其用途和特點的不同, 大致可分爲以下幾大類:
- ① 通用電子示波器。包括簡易示波器、慢掃描示波器、 多綫示波器和雙踪示波器
- ② 取樣示波器。根據取樣原理將高頻信號轉換爲中頻或 低頻信號,然後以斷續亮點顯示其波形
- ③ 存儲示波器。包括存儲式CRT和數字存儲示波器兩類。
- ④ 數字智能化示波器
- ⑤ 電視示波器
- ⑥ 邏輯示波器

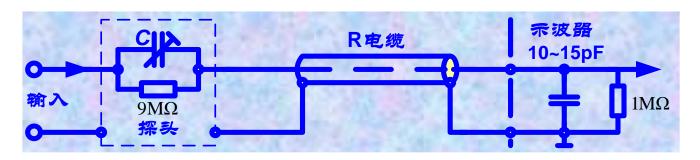
- 1.2 通用示波器
- 通用示波器的組成
- 通用示波器主要由示波管(CRT)、水平通道(X通道)、 垂直通道(Y通道)三部分組成,其結構如圖所示
- 此外,還包括CRT和儀器電路工作時所需的各種電源。通常,通用示波器中還附有校準信號發生器,產生頻率和幅度非常穩定的校準信號(如1KHz、0.5V的方波),用于示波器的校準,也可用其直接或間接地與被測信號進行比較,確定被測信號中任意兩點間的電壓或時間關係

- 1.2 通用示波器
- 通用示波器主要由示波管(CRT)、水平通道(X通道)、 垂直通道(Y通道)三部分組成,其結構如圖所示



- 1.2 通用示波器
- 示波器的垂直通道
- 示波器垂直通道的主要作用是,將被測信號盡可能不失真 地加到示波器的Y偏轉板上;通常包括探頭(探極)、輸入衰减器、Y前置放大器、延遲綫、Y後置放大器等部分
- 由于示波管的垂直偏轉靈敏度是固定的,爲擴大測量的幅度範圍,通常在垂直通道上設置衰减器和放大器,以便于把大小不一的信號幅度變換到適合于示波器觀測的數值
- 同時,示波器的垂直偏轉因數 D_y也因此而擴大了調節範圍。 垂直通道性能的好壞將直接影響到被測信號觀測結果的精 確度

- 1.2 通用示波器
- 探頭 (探極)
- 作用是便于直接在被測源上探測信號和提高示波器的輸入 阻抗



- 若被測信號的源阻抗和電纜的特性阻抗不匹配,那麽信號 在電纜中就會因多次反射而產生較爲嚴重的失真
- 爲了减小這種失真,可以采用特製的大損耗電纜,這種電纜的芯綫具有較高的電阻率,通常稱這種高阻電纜爲R電纜。使用時,R電纜配上適當的接頭和探針,就組成傳輸係數爲1的直通無源探頭

- 1.2 通用示波器
- 探頭 (探極)
- R電纜實際上是一種分布式電阻-電容網絡,其分布電容數值在20~30pF/m,它與示波器的輸入電容一起組成一個RC低通濾波器,使得探頭的頻率上限很難超過15MHz。通常,采用電容補償的方法來提高無源探頭的工作頻率,這樣,就組成了分壓式無源探頭電路,如圖所示。探頭補償的三種情况如圖所示。



(a)最佳補償

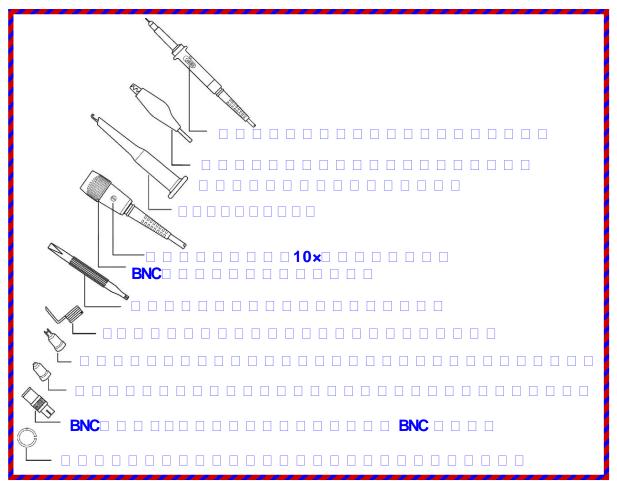
(b)過補償

(c)欠補償

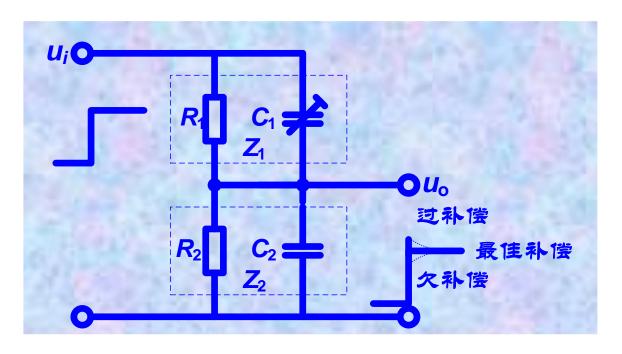
示波器探頭補償情况

分壓無源探頭不僅可以擴展示波器的使用頻率寬度,而且還具有分壓作用,可以擴展示波器的量程上限。其分壓比常見的有10:1和100:1兩種。圖3-11所示爲 10:1探頭,輸入阻抗約爲10MΩ電阻與5~15pF電容的幷聯

- 1.2 通用示波器
- 探頭 (探極)



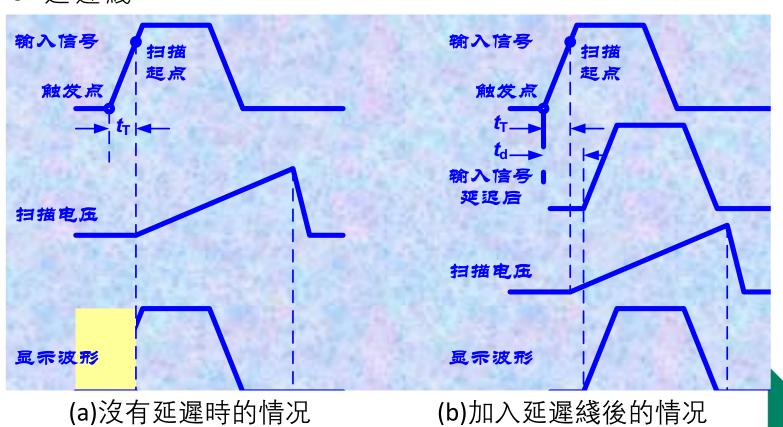
- 1.2 通用示波器
- 輸入衰减器
- 輸入衰减器的作用有兩個:一是對輸入信號進行衰减,以 保證顯示屏上所顯示的信號不會因其幅度過大而失真;二 是進行頻率補償。其電路通常由RC電路組成,如圖所示



- 1.2 通用示波器
- 前置放大器
- 前置放大器的作用是將信號適當放大,從中取出內觸發信號,并具有靈敏度微調、校正、Y軸位移、極性反轉等控制作用
- 由于前置放大器往往要對微弱信號進行放大,所以常常采用多級放大電路。放大電路的放大倍數約爲幾十倍到幾百倍,信號頻率範圍的下限也達到直流;因此,前置放大器大都采用差分放大器,它輸出一對平衡的交流電壓。這樣即使被測信號的幅度改變,偏轉的基綫電位也保持不變輸若在差分電路的輸入端輸入不同的電位,差分電路兩個輸出端的直流電位會改變,相應的Y偏轉板上的直流電位和波形在垂直方向上的位置也會發生變化。利用這一原理可通過調節直流電位(示波器面板上的"Y軸位移"旋鈕),改變被測波形在屏幕上的位置,以便于定位和測量

- 1.2 通用示波器
- 延遲綫
- 在前面介紹掃描電路時,我們瞭解到觸發掃描發生器只有當被測信號到來時才工作,且需要達到一定的電平才開始掃描,因此,掃描的開始時間總是滯後于被觀測信號一段時間(用t_T表示),這樣,脉衝的上升過程就無法被完整地顯示出來,因爲在脉衝最初一段時間裏,掃描尚未開始。延遲綫的作用是把加到垂直偏轉板上的信號延遲一段時間(用t_d表示),使信號出現的時間滯後于掃描開始時間,以保證在屏幕上掃描出包括上升時間在內脉衝全過程。圖表示了延遲綫的作用。
- 對延遲綫的要求是,它只起時間延遲的作用,而對輸入信號的頻率成分不能丟失,即不能失真

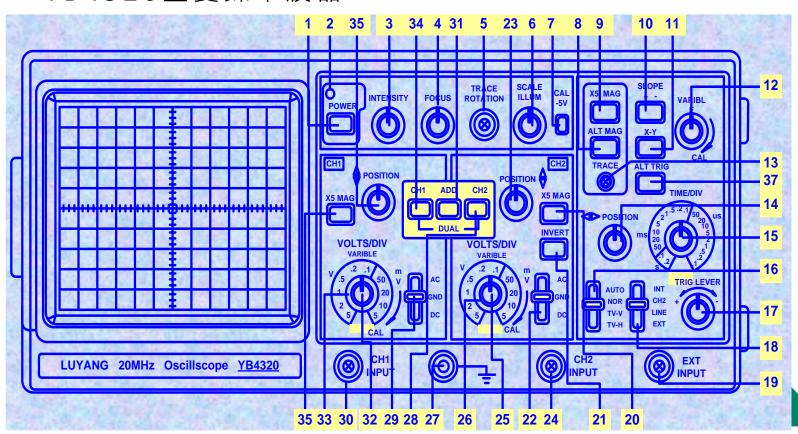
- 1.2 通用示波器
- 延遲綫



延遲綫的作用

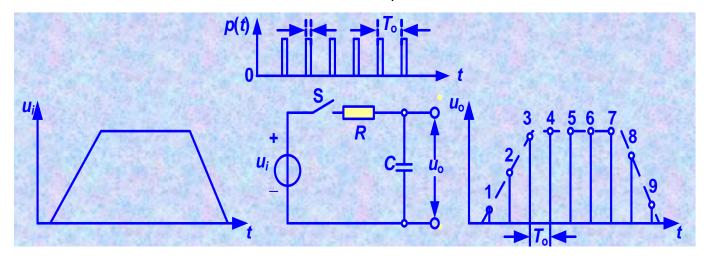
- 1.2 通用示波器
- 後置放大器
- 後置放大器又叫輸出放大器,是Y通道的主放大器,其作用是將延遲綫傳來的被測信號放大到足够的幅度,用以驅動示波管的垂直偏轉系統,使電子束獲得Y方向的滿偏轉。通常要求其具有穩定的增益、較高的輸入阻抗、足够寬的頻帶、較小的諧波失真,以使示波器不失真地再現被測信號波形
- 後置放大器一般采用推挽式放大器,以使加在偏轉板上的電壓能够對稱,有利于提高共模抑制比。電路還采用一定的頻率補償電路和較强的負反饋,以使得在較寬的頻率範圍內增益穩定。還可以采用改變負反饋的方法變換放大器的增益,例如,很多示波器中一般設有垂直偏轉因數的"×5"或"×10"的擴展功能(面板上的"倍率"按鈕),可將放大器的放大量提高5倍或10倍,這對于觀測微弱信號或信號的局部細節極爲方便

- 1.2 通用示波器
- YB4320型雙踪示波器



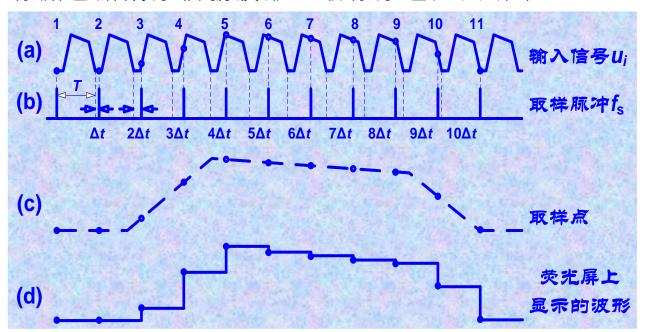
- 1.3 取樣示波器
- 取樣的概念
- 取樣示波器與普通示波器的主要區別在于取樣示波器運用 了取樣技術
- 欲觀察一個波形,可以把這個波形在示波器上連續顯示, 也可以在這個波形上取很多的點,把連續波形變換成離散 波形,只要取樣點數足够多,這些離散點也能够反映原波 形的形狀。這種從被測連續波形上取得一系列樣點的過程 就是取樣,又稱采樣。對一個時間連續的輸入信號u_i(t)的 取樣過程如圖所示

- 1.3 取樣示波器
- ●取樣的概念
- 對一個時間連續的輸入信號u_i(t)的取樣過程如圖所示



● 取樣過程在取樣保持器中完成。取樣保持器在原理上可等效爲一個開關和電容的串聯,在取樣脉衝 p(t)到來時,取樣門(電子開關S)接通,輸入信號 u(t)經 R對 C充電,充到此刻輸入信號對應的瞬時值。p(t)過去後,S斷開,C上電壓維持不變,此時,輸入信號 u(t)被采樣。在周期性取樣脉衝 p(t)的作用下,可得到一系列的取樣點,形成離散輸出信號 u₀(t),u₀(t)稱爲"取樣信號"

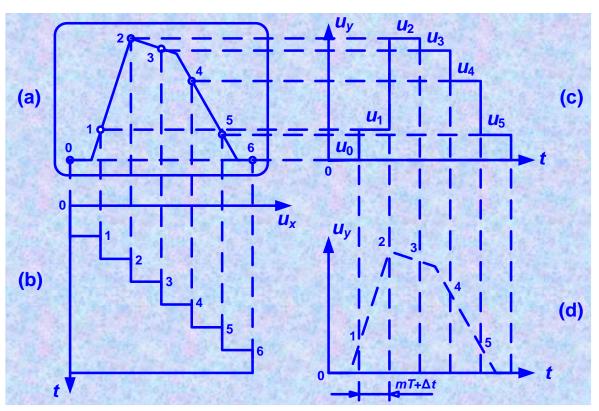
- 1.3 取樣示波器
- 實時取樣與非實時取樣
- 非實時取樣又稱等效取樣,它按照一定的時間差(Δt)在一個 周期內只取一個樣點,取樣持續時間爲多個周期,最終由多個 樣點包絡成原信號波形,取樣原理如圖所示



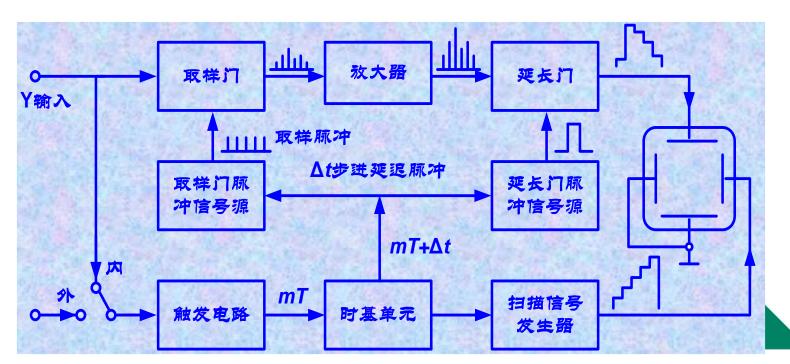
非實時取樣示意圖

- 1.3 取樣示波器
- 實時取樣與非實時取樣
- 在*t*1時刻,它進行第一次取樣,對應于信號波形上的樣點1
- 經過 $T+\Delta t$ 後的 t_2 時刻,進行第二次取樣,取樣點2,但取樣脉衝相對于信號周期延遲了 Δt
- 經過 $T+2\Delta t$ 後的 t_3 時刻,進行第三次取樣,取樣點3,但取樣脉衝相對于信號周期延遲了 $2\Delta t$
- 依次類推,每間隔*mT*+ Δ*t*在信號波形上取一個樣點,而且,取樣信號的幅度等于輸入信號的瞬時值,寬度等于*τ*。Δ*t*為步進間隔,它决定了采樣點在波形各個周期上的位置,并使本次采樣點的位置比上次采樣點的位置推遲Δ*t*時間,由于被測信號是波形完全相同的重複周期信號,因而利用具有"步進延遲"的寬度極窄的取樣脉衝Δ*t*,在被測信號各周期的不同相位上逐次取樣,那麼取樣點將按順序取遍整個信號波形,取樣後的信號波形是一串脉衝序列,其包絡綫同樣重現了原信號的波形,但因爲波形包絡來自于輸入信號的多個周期,所經歷的時間變長了,高頻率的周期性輸入信號變成了低頻信號

- 1.3 取樣示波器
- 顯示信號的合成過程



- 1.3 取樣示波器
- 取樣示波器的工作原理
- 與通用示波器類似,取樣示波器也是由示波管、X通道和 Y通道組成,其原理框圖如圖所示



- 1.4 數字存儲示波器
- 數字存儲示波器的工作原理
- 圖所示爲以微處理器爲基礎的數字存儲示波器,主要包括 X通道、Y通道、示波管和接口部分。它在微處理器的控 制下完成采樣、存儲、讀出、顯示和程控等任務,幷通過 數據總綫、地址總綫和若干控制綫互相聯繫和交換信息。 它比模擬示波器不僅增加了微處理器和控制接口,Y通道 還包含數據采集和存儲電路,通過它對待測信號進行采集 幷存儲下來,最後傳輸給示波管進行顯示,完成信號波形 的測量

- 1.4 數字存儲示波器
- 數字存儲示波器的工作原理

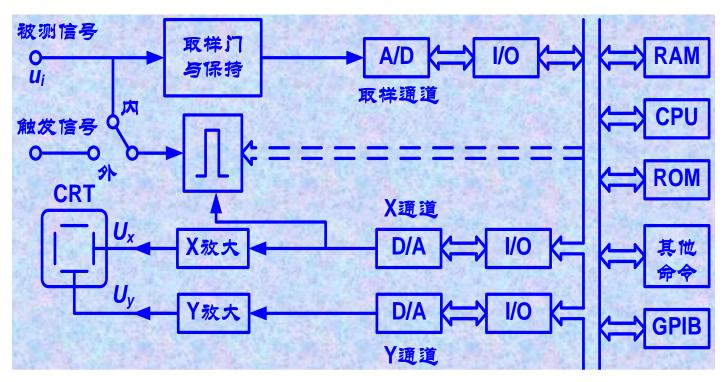


圖3-29 典型數字存儲示波器的框圖

- 1.4 數字存儲示波器
- 數字存儲示波器的工作原理
- 數字存儲示波器的工作過程可以分爲采樣存儲和讀出顯示兩個過程。對數據進行采樣存儲時,待測信號加入到Y通道,Y通道采樣電路對被測信號ui進行采樣,采樣結果經A/D轉換器變換成數字信號,然後存入RAM
- 采樣脉衝形成電路一方面受觸發信號控制,同時也受計算機控制(直接由計算機產生對采樣的控制信號,如圖虛綫所示),X通道在采樣存儲時用來控制采樣脉衝的形成。在讀出顯示時,X通道只負責產生階梯掃描信號,數字存儲示波器在CPU的控制下讀出存儲在RAM中的數字化信號并重新恢復成模擬信號,由CRT顯示
- 這時,X通道產生的階梯掃描電壓把被測信號波形在水平 方向展開

- 1.4 數字存儲示波器
- 數字存儲示波器的采樣存儲和讀出顯示兩個過程是相對獨立的, 他們既可以在測量某待測信號時實時完成,也可以在測量後將 已存儲在示波器中的待測信號單獨顯示出來

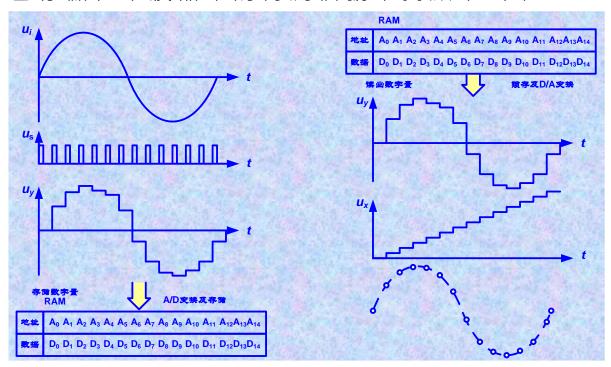
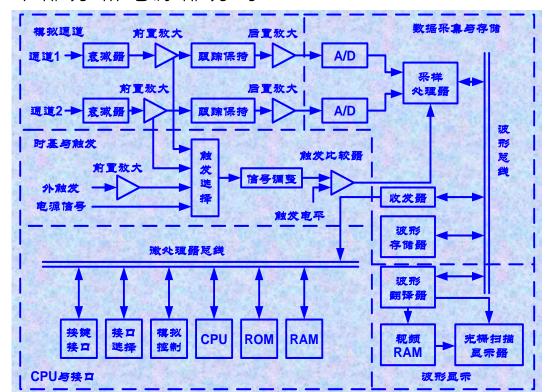


圖3-30 采樣和存儲過程

圖3-31 讀出和顯示過程

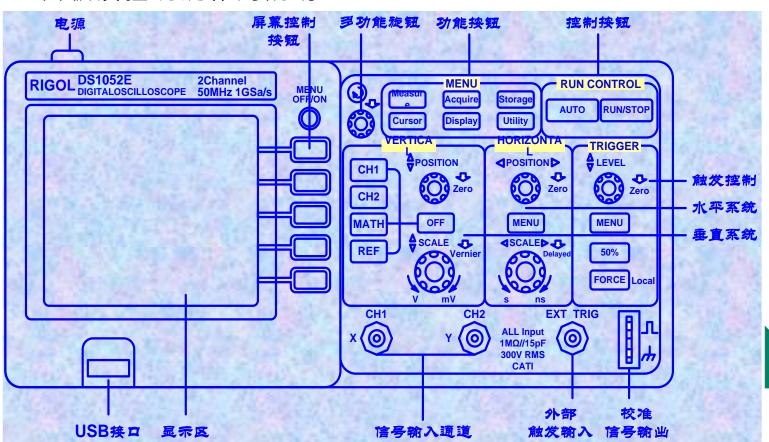
- 1.4 數字存儲示波器
- 數字存儲示波器的組成原理
- 較爲典型的HP54600的組成原理,其主要包括模擬通道部分、 數據采集與存儲部分、時基與觸發部分、CPU與接口部分、顯 示部分和電源部分等



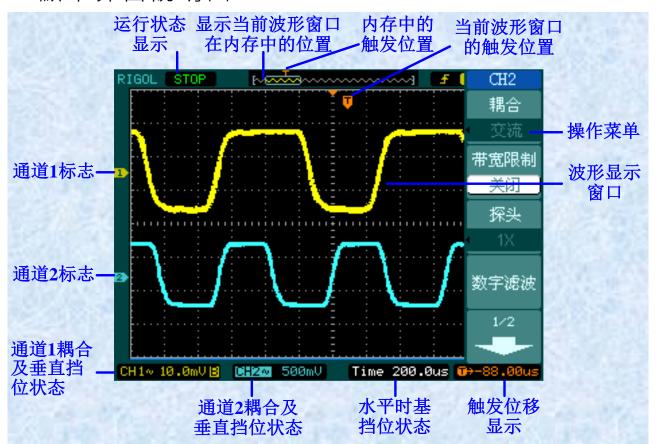
- 1.4 數字存儲示波器
- 數字存儲示波器的主要技術指標
- 1 ⋅ 最高取樣速率
- 最高取樣速率是指單位時間內取樣的次數,也稱爲數字化速率,用每秒鐘完成的A/D轉換的最高次數來衡量,常以頻率fs來表示。取樣速率越高,反映示波器捕捉高頻或快速信號的能力越强。取樣頻率主要由A/D轉換速率决定
- 2.上升時間
- 其定義與通用示波器相同,是指在Y通道輸入端接一個理想的 階躍信號,顯示屏上顯示波形從穩定幅度的10%上升到90%所 需的時間,它和頻帶寬度有內在聯繫

- 1.4 數字存儲示波器
- 數字存儲示波器的主要技術指標
- 3 · 分辨率
- 分辨率是指示波器能够分辨的最小電壓增量,即量化的最小單元。它包括垂直分辨率(電壓分辨率)和水平分辨率(時間分辨率)。垂直分辨率與A/D轉換器的分辨率相對應,常以屏幕每格的分級數(級/div)或百分比來表示
- 4 · 存儲容量
- 存儲容量又稱爲記錄長度,它由采集存儲器的最大容量來表示, 常以字爲單位。數字存儲示波器常采用256、512、1K、4K等 容量的高速半導體存儲器
- 5 · 讀出速度
- 讀出速度是指將數據從存儲器中讀出的速度,常采用"時間/div"來表示。其中,時間=屏幕上每格內對應的存儲容量× 讀脉衝的周期

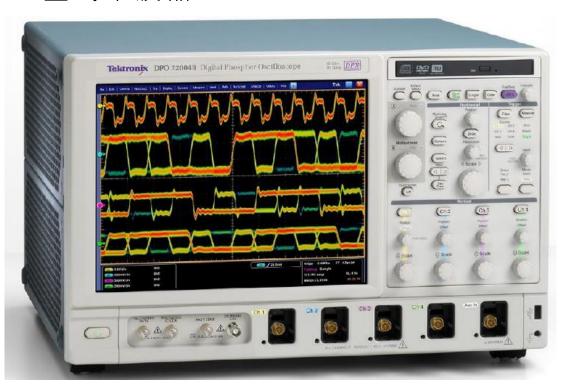
- 1.4 數字存儲示波器
- DS1052E型數字存儲示波器
- 面板及控制鍵作用說明



- 1.4 數字存儲示波器
- DS1052E型數字存儲示波器
- 顯示界面說明圖



- 1.5 示波器的基本測量技術
- 臺式示波器



- 1.5 示波器的基本測量技術
- 便携示波器



- 1.5 示波器的基本測量技術
- 手持示波器



- 1.5 示波器的基本測量技術
- 平板示波器

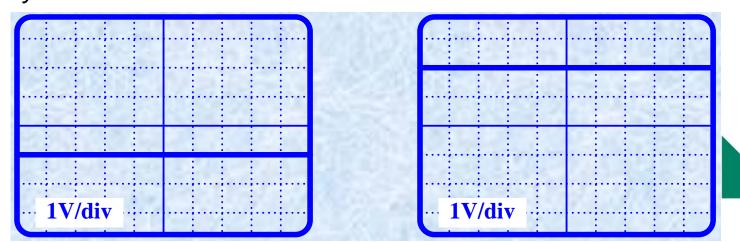


- 1.5 示波器的基本測量技術
- 探頭及其附件



- 1.5 示波器的基本測量技術
- 測試一個信號
- 直流電壓測量
- 測量步驟如下:
- (1)將"掃描方式"開關置于"AUTO"位置,選擇掃描速度,以使掃描不發生閃爍現象
- (2)將垂直偏轉因數的"微調"旋鈕調至"校準"位置, 根據所測電壓的大小,調節 "V/div"旋鈕于適當位置
- (3)將 "AC-GND-DC" 開關置于 "GND" 位置。此時的掃描垂直位置即爲0V基準綫
- (4)將被測電壓加至輸入端後,將 "AC-GND-DC" 開關置于 "DC" 位置,此時所顯示的直綫位置即爲所測電壓值。若直綫位于零伏基準綫之上,則所測電壓爲正;若直綫位于零伏基準綫之下,則所測電壓爲負

- 1.5 示波器的基本測量技術
- 直流電壓測量
- (5)若所測電壓超出顯示範圍,應增大其垂直偏轉因數 "V/div";若所測電壓數值過小,應减小其垂直偏轉因數 "V/div"後重新測量。據此測量方法,則直流電壓爲 $U_{DC} = h \times D_v$
- 式中,h爲被測直流信號綫的電壓偏離零電平綫的高度; Dy爲示波器的垂直偏轉因數

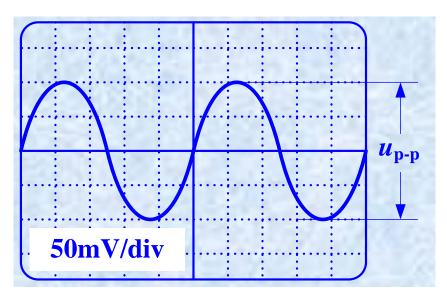


- 1.5 示波器的基本測量技術
- 交流電壓的測量
- 測量步驟如下:
- (1)將 "AC-GND-DC" 開關置于 "GND" 位置。調節垂直 "位移" 旋鈕,使該掃描綫準確地落在水平刻度綫上
- (2)將"微調"調至"CAL"位置,再根據被測電壓的 大小,調節"V/div"旋鈕于適當位置
- (3)將被測電壓加至輸入端後,將 "AC-GND-DC"開關置于 "AC"位置,此時所顯示的波形即爲所測交流電壓,如圖3-42所示。由此可算出所測交流電壓的峰-峰值(u_{p-p})爲

$$u_{p-p} = h \times D_y$$

● 式中,h爲被測交流電壓波峰和波谷的高度或任意兩點間 的高度; Dy爲示波器的垂直偏轉因數

- 1.5 示波器的基本測量技術
- 交流電壓的測量
- 測量步驟如下:
- (4)圖3-42中,"V/div"的位置爲50mV/div,波形的峰頂與穀底之間爲4個格,則所測交流電壓的峰-峰值

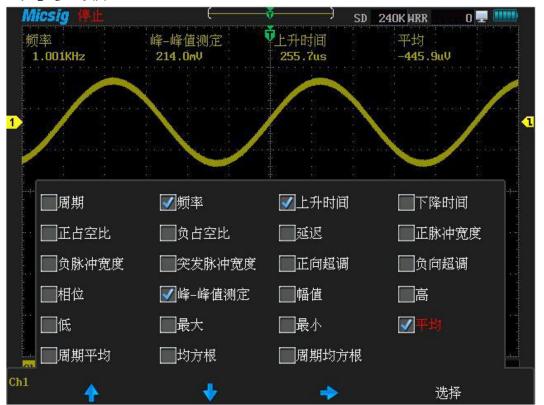


- 1.5 示波器的基本測量技術
- ●自動測量
- 自動測量用于分析信號的頻率、周期、幅度、相位等一系列參數。一般分爲以下幾個操作步驟:
- (1)打開測量菜單 "測量" 、 "Measure" 或 "Meas"
- (2)選擇測量源,也就是選擇要測量的通道(Ch1、Ch2、Ch3、Ch4)
- (3)選擇測量項





- 1.5 示波器的基本測量技術
- 自動測量
- 自動測量用于分析信號的頻率、周期、幅度、相位等一系列參數



思考題

思考題請回答如下問題

- 1. 如果需要在野外的通信基站等測量一些信號,請你想一想使用什麽類型的示波器比較合適,并給出相應的理由。 (可以參考實驗原理1.5節)
- 2. 如果需要測量一些精密儀器發出的微弱信號,請你想一想使用什麽類型的示波器比較合適,幷給出相應的理由。 (可以參考實驗原理1.5節)

注意事項

- #請儘快完成實驗11-1,并在TronClass系統內按時提交作業。
- #請儘快完成homework4,并在TronClass系統內按時 提交作業。
- #請儘快完成homework4,幷在TronClass系統內按時 提交作業。
- #請儘快完成homework4,幷在TronClass系統內按時提交作業。

