

實驗十二：PCM Encoder and decoding

陳孟勳、謝以恩

國立台北大學通訊工程學系 112 級通訊實驗第 14 組
s411086029@gm.ntpu.edu.tw, s411086035@gm.ntpu.edu.tw

摘要

學習並使用 NI ELVIS II 實現 PCM 訊號從模擬轉向二元制訊號，並嘗試再將其解碼，或者可以於過程中觀察量化誤差的影響。

關鍵字—Pulse code modulation、quantization error、PCM decoding、frame

1. 簡介

1.1. 實驗目的、實驗器材

1.1.1 實驗目的:

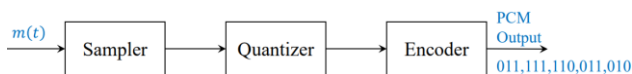
使用 Emona DAtEx 透過 PCM 調變技術，將原訊號取樣及量化，轉換為二元制，由 0 跟 1 組成。然後再設定一個解碼器，去還原一開始之訊號。觀察其操作是否被訊息的「量化誤差」所影響。

1.1.2 實驗器材:

Computer with appropriate software installed、
NIELVIS II plus USB cable and power pack、
Emona DAtEx experimental add-in-module
two BNC to 2mm banana-plug leads、
assorted 2mm banana-plug patch leads
one set of headphones(stereo)

1.2 實驗原理

1.2.1 PCM encoder



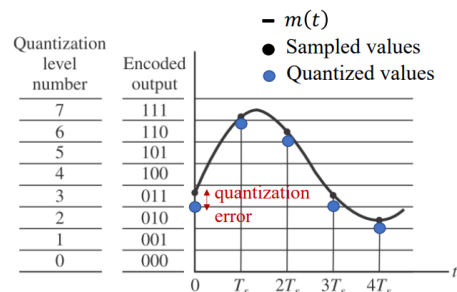
圖一:PCM 調變流程示意圖

如圖一所示，我們會知道想把原訊號(連續時間及連續數值)量化為一系列的二元的訊號會有三步驟。

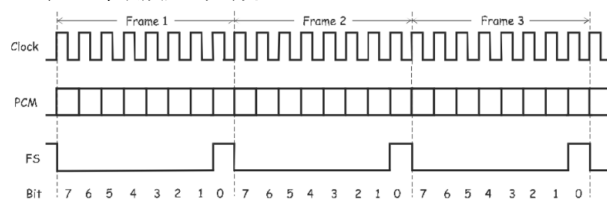
第一為取樣，在固定區間使用 pulse 對訊號去做 convolution，得到取樣的訊號，這時還屬於類比的訊號，只是變為離散之時間有連續之數值。

第二為量化，在有限的 bit 數下，將各值量化為最近的 bit 數，這時就會出現所謂的量化誤差，圖像化如圖二所示。這時訊號開始要轉為數位，另外，量化完的訊號為離散之時間有離散之數值。

最後，是編碼，對於輸入一系列之量化訊號，把它們轉為二元制輸出。



圖二:量化示意圖，可以看到各個數據並不會完全對到 bit 的 level 值，導致誤差的出現



圖三:PCM 模組運作示意

我們從圖三可以得知的資訊是，想將 analog voltage (-2~+2) 轉換為一個 8-bit binary 之數值。

我們這裡的 Quantization levels: $2^8 = 256$ 。

至於每個二元數在 frames 中為一系列傳輸，其順序依序為 most significant bit (bit 7) 到 least significant bit (bit 0)。

1.2.2 PCM 解碼

我們從二進制數的一系列串列中恢復訊息稱為解碼，會友經歷以下步驟:

第一步，先識別資料流中的每個 frame 的大小。

第二步，從每一 frame 中提取二進位數。

第三步，產生電壓，會正比於二進位數的大小。

下一步，保持輸出電壓，直到解碼下一 frame (PAM 版本的原始訊息訊號)。

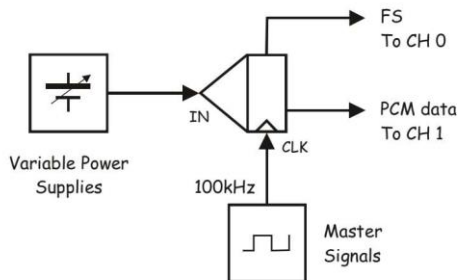
最後，透過使 PAM 訊號通過低通濾波器的結果來重建原訊號。

Decimal Number	8-bit Representation	Output Voltage (V)
255	1111,1111	$+2 - \frac{2}{128}$
⋮	⋮	⋮
128	1000,0000	0
⋮	⋮	⋮
0	0000,0000	-2

圖四:配合 8-bits 二進值的解碼表

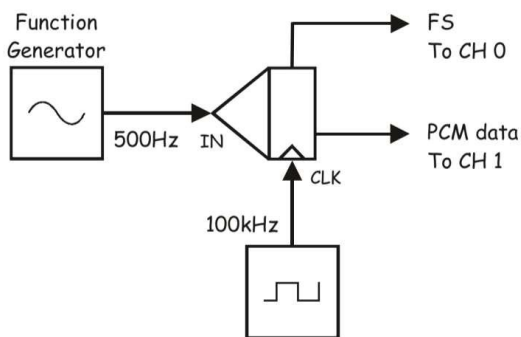
1.2.3 Experiment A

先使用 VPS 產出 DC 電壓，線路連接好的情況如圖五所示。連接好可以調動 DC 的值，但不要超過 $\pm 2.5V$ 。藉由調整 scope 的相關 scale，觀察輸出情形。



圖五:使用 DC 值並對其做出 PCM 調變

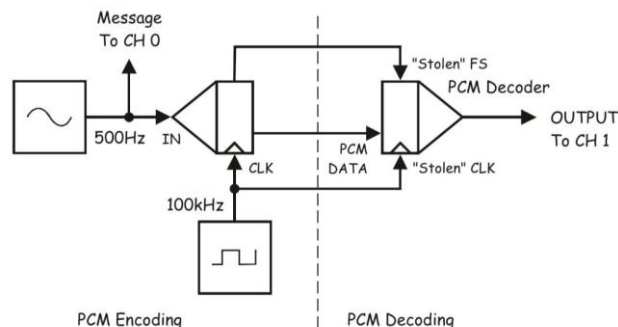
接著使用系統的 FGEN，也就是 Function generator，替換 DC 電壓。如此一來，輸入之電壓是連續在做變化的，帶動 PCM 的資料改變。



圖六:使用 Function generator 並對其做出 PCM 調變

1.2.4 Experiment B

將前一部分之線路再加上 Decoder，於設定好的 DSA 上輸出頻譜。因為 frame 為 100kHz，分成 8-bits，所以理論上相隔 12.5kHz。



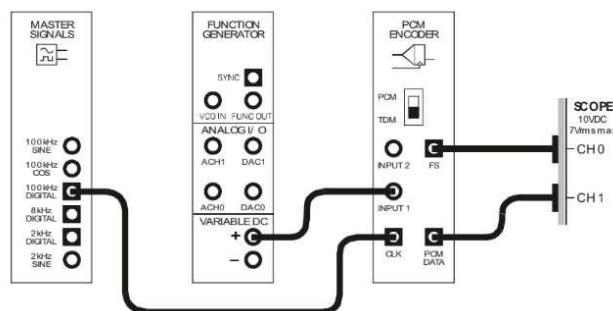
圖七:PCM 調變及解調變流程示意

接著轉換一下線路，用耳機接聽解調變訊號。

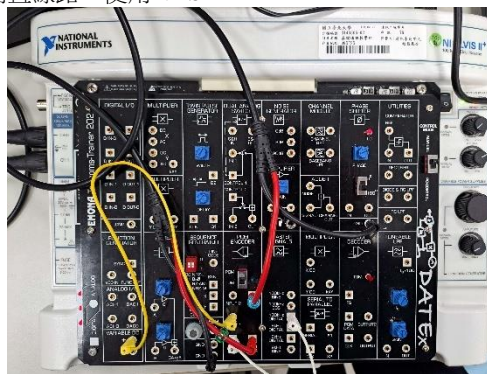
2.實驗內容

2.1 Experiment A

調整電源供應器至 0V，並連接圖八的線路，進行下一步的分析。其中，100kHz 訊號被我們當 CLK 使用。

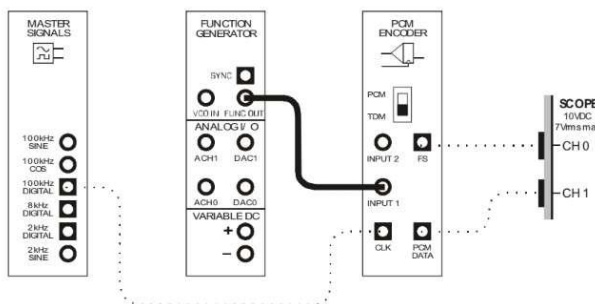


圖八:前置線路，使用 VPS

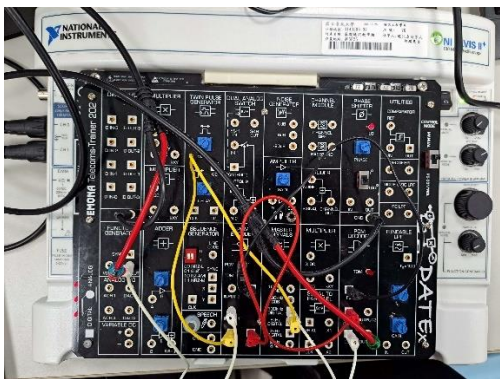


圖九:實際線路

我們也可以將電壓逐步加大，看輸出的變化。接著使用方波產生器，去對訊號做 PCM 調變，調整線路如圖十。



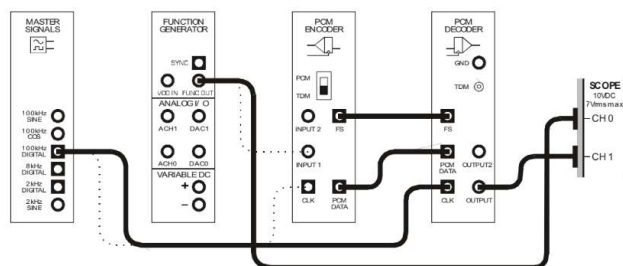
圖十: 移除輸入的電壓，改為方波



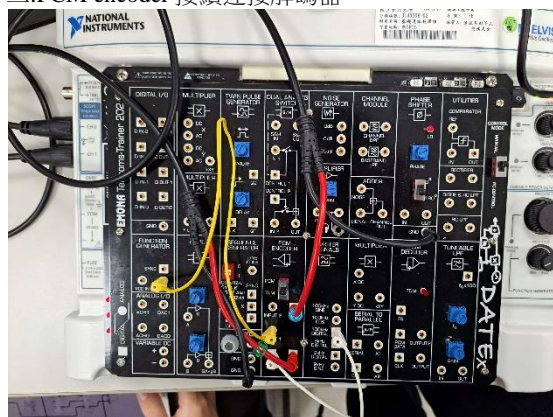
圖十一:將方波產生器連接 PCM encoder 實際的線路經由對 scope 範圍上等設定做調整，輸出 PCM 調變訊號，並觀察取樣樣式，這可從上次實驗去判定。

2.2 Experiment B

我們想將 PCM 訊號進行解碼，首先需按照圖十二，連接好線路，實際連接情況如圖十三。



圖十二:PCM encoder 接續連接解碼器



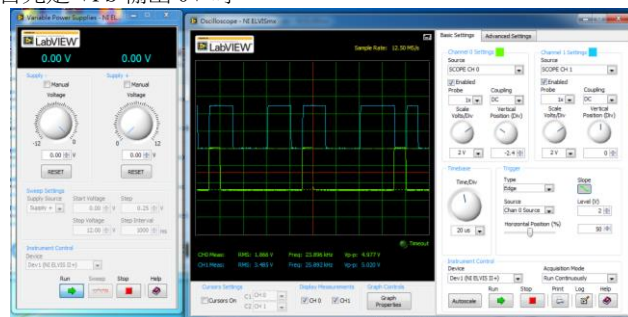
圖十三:PCM encoder 接續連接解碼器，實際線路理論上，解碼後之成果應該類似於原訊號，但由於取樣過後的訊息訊號是由不同弦波所組成，所以我們需要在頻域去做觀察分析。打開 DSA，一樣需要對範圍或 Channel 做設定。接著，使用 cursor 去進行頻率值的測量。最後則是連接放大器，接上耳機(本次實驗使用喇叭代替)，調整 Gain 旋鈕，得到舒適的解調變過後之訊號。

3. 實驗結果與討論

3.1 Experiment A

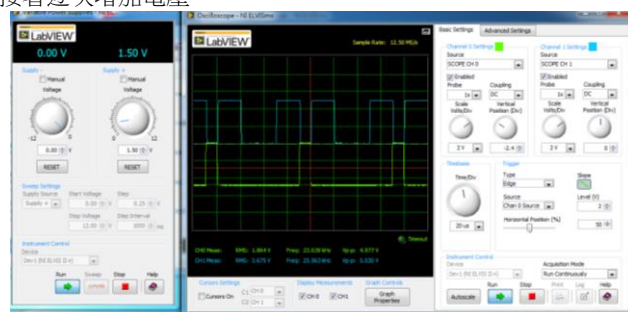
3.1.1 連接 VPS

首先是 VPS 輸出 0V 時。

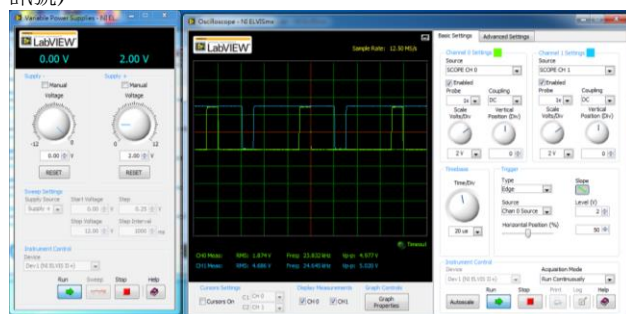


圖十四:VPS 輸出 0V 時的時域圖(綠色為 CLK，藍色為訊息訊號)

接著逐次增加電壓



圖十五:VPS 輸出 1.5V 時的時域圖(綠色為 CLK，藍色為訊息訊號)

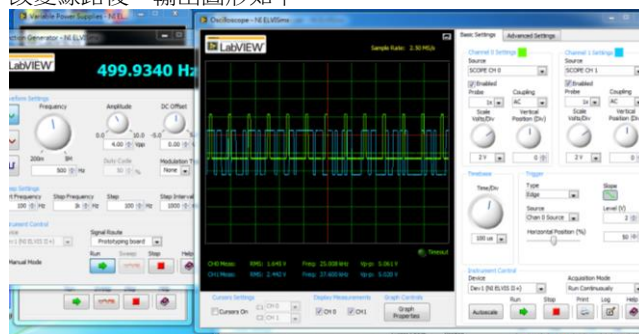


圖十六:VPS 輸出 2V 時的時域圖(綠色為 CLK，藍色為訊息訊號)

在調整電壓的過程，會發現若電壓值過大，輸出圖形會在 CLK 的地方有跳動，甚至被剪略為一直線，所以會趨近變為一條完整直線。

3.1.2 連接方波產生器

改變線路後，輸出圖形如下。



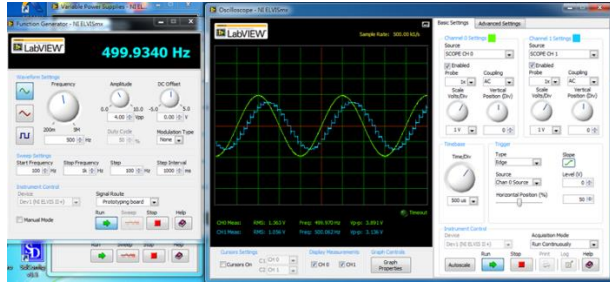
圖十七: 可見當弦波震幅越大，持續時間越小(綠色為 CLK，藍色為弦波訊號)。跟 FM 結果相反。

我們知道 PCM 的輸入是一弦波，進入模組的電壓值也連續不斷的變化。這也代表我們的 PCM 的輸出資料同樣為連續變化。

3.2 Experiment B

3.2.1 解碼

連同前面所連接線路，加以解碼器，觀察輸出。



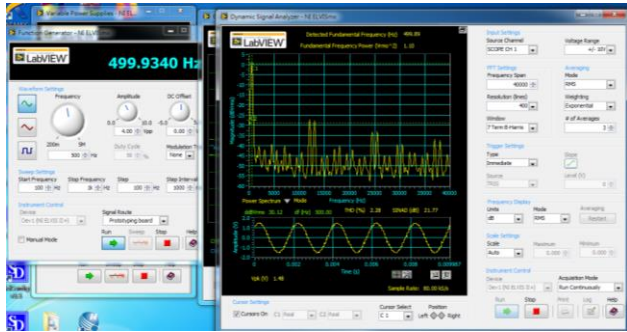
圖十八: (綠色為輸入之弦波，藍色為取樣量化後的訊號)雖然取樣起來有所偏移，但看的出來是有取樣成功。

3.2.2 回答問題一:

根據上一次的實驗，可以看到此次實驗是屬於 sample-and-hold 的取樣動作。取樣出來的波是隨著取樣時的弦波有所改變的振幅，同時取樣完持續一段時間，到下一次取樣才有所變化。

3.2.3 頻域分析

藉由調整 DSA 相關設定，包括輸出的 Channel 以及 dB，輸出圖形如下。

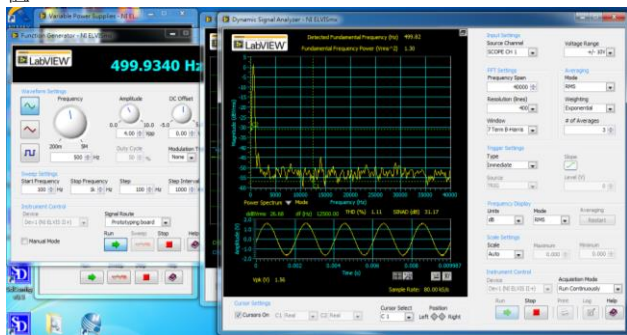


圖十九:解碼過後的訊號頻譜

前面的實驗內容有提過，取樣過後的訊息訊號是由不同弦波所組成，所以從頻譜來看就很明顯。

至於是哪些多餘的頻率呢?其值又為何?原因是本次實驗使用 100kHz 當作 CLK 去存 8bits 的資訊，所以每個 bit 取樣會是 12.5kHz，換算為 $80 \mu s$ 。

所以其他明顯突出之頻率，應為 12.5kHz 之倍頻，但使用頻譜分析時會被拆成兩個頻率，所以是觀測兩明顯波峰中間之頻率值。



圖二十:若想濾除多餘的倍頻，可以使用低通濾波器進行處理

3.2.4 聆聽解碼過後之訊號

錄製影片如下:

<https://www.youtube.com/watch?v=zMZwVqRl6w>

3.2.5 回答問題二:

在進行解碼訊號並輸出時，需要注意的是我們的 FS 以及 CLK 是否有對應到，否則會有解碼錯誤。比如說本實驗使用 8bits 的量化，但 CLK 沒有對應到，這時就會有訊號失真的狀況。

4.問題之提出

無。

5.心得與感想

陳孟勳:

最後一次的實驗結束的也很快，沒有甚麼大問題，基本上都熟練板子的操作了，遇到問題也有辦法快速解決，畢竟有經驗。謝以恩:

這次實驗，操作上也是沒有太大的問題，只是在 scope 的範圍調了一下，才有比較好的呈現。

而這次也為本課程最後一次實驗，感謝教授及助教的教導。我所學到的不只是單純接線，還有一些報告及敘述上的技巧。

6.參考文獻

- [1] Emona DATEX Lab Manual, available at <https://www.ni.com/zh-tw/support/model.emona-datex-telecommunications-board-for-ni-elvis-ii.html>.