

111年公務人員特種考試外交領事人員及外交行政人員、  
國際經濟商務人員、民航人員及原住民族考試試題

代號：40350  
頁次：5-1

考試別：民航人員考試

等別：三等考試

類科組別：航空通信

科目：通信原理

考試時間：2小時

座號：\_\_\_\_\_

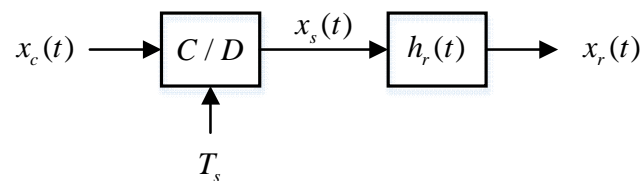
※注意：(一)可以使用電子計算器。

(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

(三)請以藍、黑色鋼筆或原子筆在申論試卷上作答。

(四)本科目除專門名詞或數理公式外，應使用本國文字作答。

一、取樣(Sampling)是將連續時間信號轉換為離散時間信號的一種過程。假設取樣週期為 $T_s$ ，一連續時間信號 $x_c(t)$ 經過一理想的連續/離散轉換器(Ideal C/D)取樣，如下圖所示，可得離散時間信號 $x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT_s)\delta(t-nT_s)$ ，其中 $\delta(t)$ 為脈衝函數(Impulse Function)。將取樣後的離散時間信號 $x_s(t)$ 經過一低通重建濾波器(Low-Pass Reconstruction Filter) $h_r(t)$ ，可得一連續信號 $x_r(t)$ 。



假設 $x_c(t) = 2\cos(100\pi t - \pi/4) + \cos(300\pi t + \pi/3)$ ， $-\infty < t < \infty$ ，而低通重建濾波器 $h_r(t)$ 的頻率響應(Frequency response)為

$$H_r(f) = \begin{cases} T_s, & |f| \leq f_s/2; \\ 0, & |f| > f_s/2. \end{cases}$$

(一)若 $f_s = 1/T_s = 500$  Hz，請求 $x_r(t)$ 以及其頻率響應 $X_r(f)$ 。(6分)

(二)若 $f_s = 1/T_s = 250$  Hz，請求 $x_r(t)$ 以及其頻率響應 $X_r(f)$ 。(6分)

(三)如果我們希望獲得 $x_r(t) = A + B\cos(100\pi t - \pi/4)$ ，其中 $A$ 、 $B$ 為常數，請問 $f_s = 1/T_s$ 應該設定為多少 Hz？(6分)

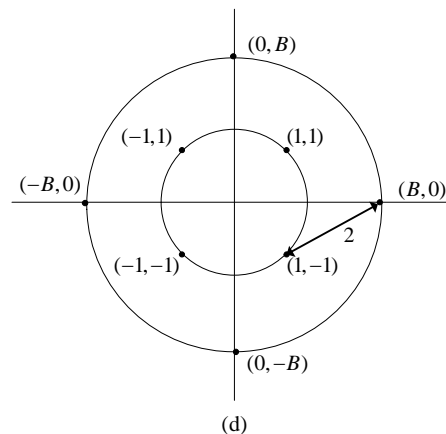
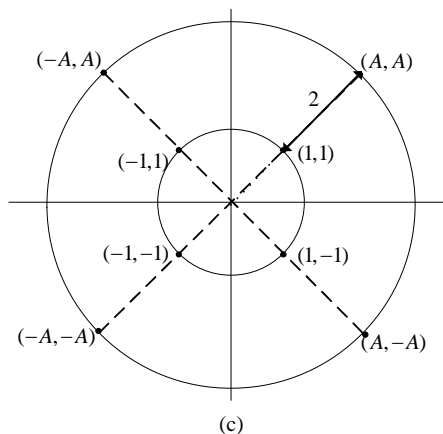
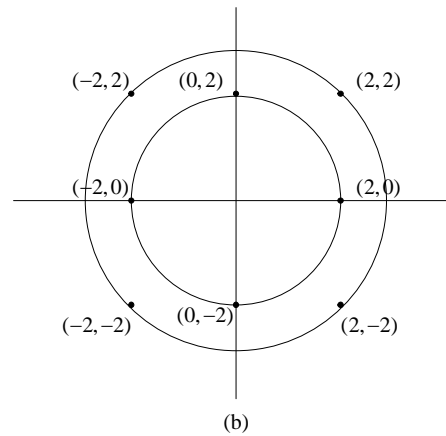
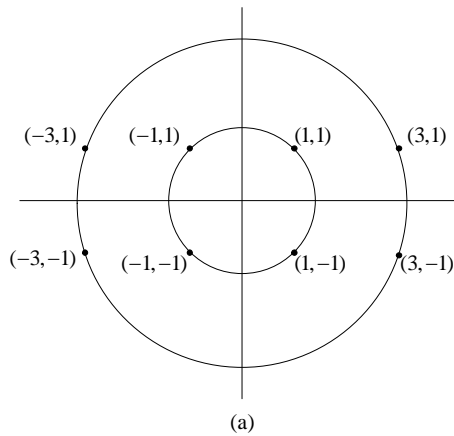
二、傳統調幅 (AM) 之調變信號可以表示成  $u(t) = A_c(1 + m(t))\cos(2\pi f_c t)$ ，其中  $m(t)$  為欲傳送的信號，而  $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$  為載波 (Carrier)。假設

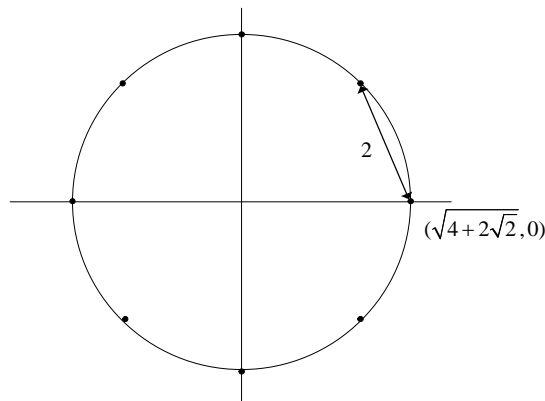
$$u(t) = 5\cos(1800\pi t) + 20\cos(2000\pi t) + 5\cos(2200\pi t)$$

(一) 請求出  $m(t)$  以及  $c(t)$ 。(8分)

(二) 請計算  $u(t)$  的功率  $P_u = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u^2(t) dt$ 。(10分)

三、在比較不同的數位調變系統時，通常我們會從調變信號的分布圖 (constellation diagram) 來評估該通訊系統的效能。我們可將一符元 (symbol) 的兩個正交調變信號視為一向量，並在直角平面坐標上畫成一點，則集合所有符元所構成之點即為該數位調變系統的信號分布圖。從分布圖上，我們不僅可觀察信號整體分布，並可計算出該信號分布圖中兩個符元間的最短距離  $d_{min}$ ，藉此評估此通訊系統之效能。考慮以下五張不同信號分布圖：(a)，(b)，(c)，(d)，(e)，每張分布圖都包含八點信號，其中圖 (e) 為 8-PSK，為了達到相同的傳輸效能，我們假設五張信號分布圖其信號間的最短距離  $d_{min} = 2$ 。





(e) 8-PSK

- (一) 請求出圖 (c) 中的坐標  $A$  以及圖 (d) 中的坐標  $B$  的值為何？(8分)
- (二) 根據信號分布圖 (a), (b), (c), (d), (e), 請計算五個不同數位調變系統中其平均的傳輸功率  $P_{av}$ 。(15分)
- (三) 請比較五個不同數位調變系統的優劣, 那一個系統最好? 那一個系統最差? 為什麼?(6分)

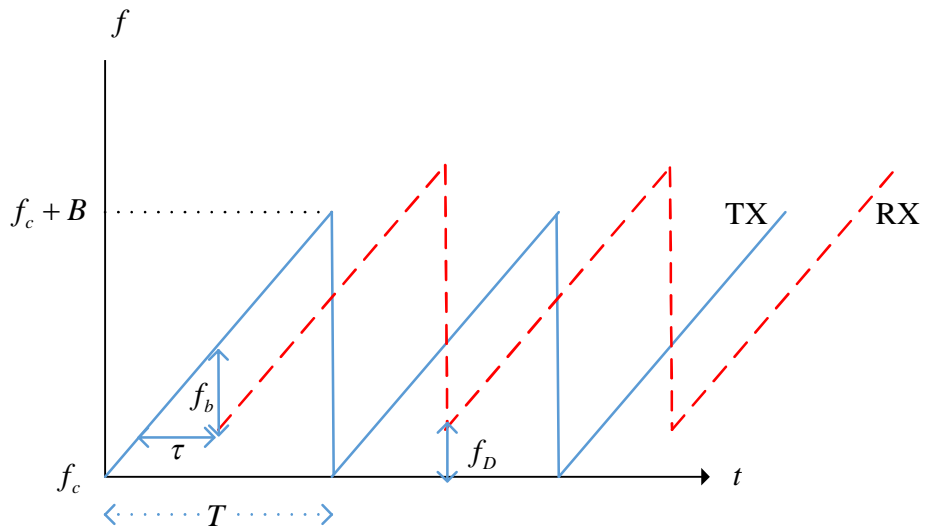
四、頻率調變連續波 (Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW) 雷達由於體積小、距離量測解析度高、對雜訊靈敏度低、以及容易整合的特性, 已經被廣泛應用於先進汽車駕駛輔助系統 (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) 中。一典型的 FMCW 雷達傳送波  $x_{tx}(t)$  是一個頻率為鋸齒波的 FM 信號, 如圖一所示, 其頻率可表示成

$$f(t) = f_c + \frac{B}{T}t_s = f_c + \alpha t_s, \quad t = nT + t_s, \quad 0 < t_s < T, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

其中  $f_c$  為起始頻率 (或載波頻率),  $B$  是掃頻範圍 (或信號頻寬),  $T$  是掃頻時間 (Sweep Time) (或週期),  $\alpha = B/T$  為斜率 (或 Chirp Rate)。該鋸齒波的 FM 信號即為 FMCW 雷達的傳送信號  $x_{tx}(t)$ , 也就是

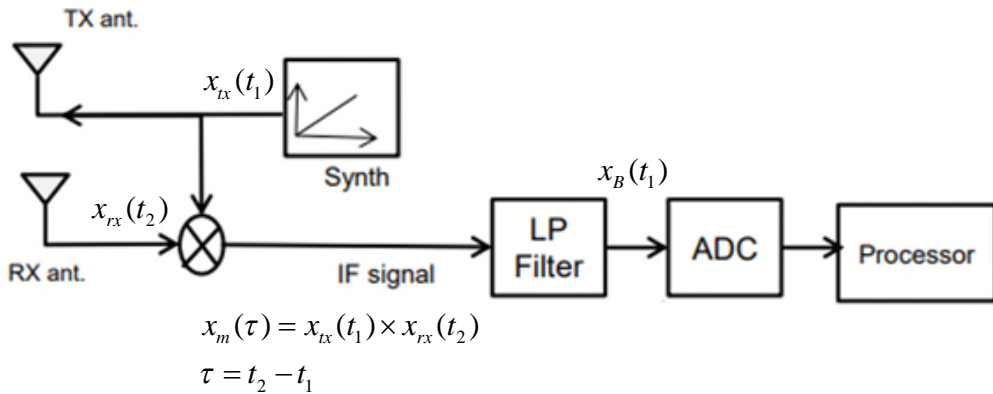
$$x_{tx}(t) = A \cos(2\pi \int_0^t f(t) dt) = A \cos 2\pi \left( f_c t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \right) \equiv A \cos(u(t)), \quad 0 < t < T$$

當傳送波碰到目標物反射後, 其回波 (Echo) 由 FMCW 接收器接收, 如圖一所示, 其中實線表示傳送信號  $x_{tx}(t)$ , 記為 TX, 而虛線表示回波信號  $x_{rx}(t)$ , 記為 RX。透過計算 TX 信號與 RX 信號的時間差  $\tau$  與多卜勒頻率位移  $f_d$ , 即可求得目標物與雷達源 (Source) 之間的相對距離以及相對移動速度。



圖一 鋸齒波FMCW傳送信號TX與迴波信號RX

FMCW 的接收器設計非常簡單，只要將 TX 信號與 RX 信號相乘（或稱 Mixing），如圖二所示，其中  $t_1$  為 TX 信號的傳送時間，而  $t_2$  為 RX 信號的接收時間，再將所得到的混合信號  $x_m(t)$  經由低通濾波器（Low-pass Filter）處理後，即可求得  $t_d$  與  $f_D$ 。



圖二 FMCW雷達接收機

(一)因為 RX 是迴波，因此我們可假設  $x_{rx}(t_2) = B \cos(u(t_1 - \tau))$ 。假設目標物靜止，也就是圖一中的  $f_D = 0$ ，請驗證圖二中低通濾波器 (LP Filter) 的輸出為  $x_B(t_1)$  為

$$x_B(t_1) = \frac{AB}{2} \cos 2\pi \left( \alpha \tau t_1 + f_c \tau - \frac{1}{2} \alpha \tau^2 \right) = \frac{AB}{2} \cos 2\pi (\alpha \tau t_1 + \phi(\tau))。$$

(15分)

(Hint: 先計算  $A \cos(u(t_1)) \times B \cos(u(t_1 - \tau))$ ，再將其高頻信號部分濾除，即可得  $x_B(t_1)$ )

(二)由(一)得知，基頻信號  $x_B(t)$  是一單頻率  $f_b = \alpha \tau$  信號與一隨時而變的相位  $\phi(\tau)$  所組成，FMCW 雷達的基頻信號  $x_B(t)$  又稱為拍頻 (Beat Frequency)。我們可以用拍頻  $x_B(\tau)$  的頻率  $f_b = \alpha \tau$  計算出目標物與雷達源之間的相對距離。假設  $f_c = 77 \text{ GHz}$ ， $B = 4 \text{ GHz}$ ，而  $T = 40 \mu\text{s}$ ，今有一雷達迴波測得其  $\tau = 2 \mu\text{s}$ ，請問該目標物距離雷達源的距離為何？(10分)

(Hint: 雷達波以光速 ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) 傳遞，而  $\tau = 2R/c$ ，其中  $R$  為目標物與雷達源之間的相對距離)

(三)由(二)，假設  $f_c = 77 \text{ GHz}$ ， $B = 4 \text{ GHz}$ ，而  $T = 40 \mu\text{s}$  則此三角波 FMCW 雷達最小可測之距離 (或稱為距離解析度) 為何？(10分)