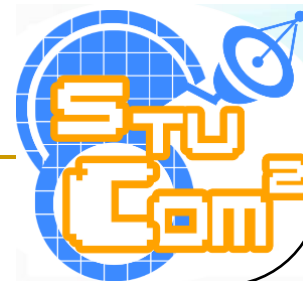


# 射頻電路設計 (RF Circuits Design) Chapter 1 簡介



# Chapter Outline

1.1 射頻概念

1.2 射頻通信電路應用簡介

1.3 無線通道中的電波傳播

1.4 無線通道的特徵

1.5 干擾與噪音

1.6 射頻電路的特點



## 1.1 射頻概念



*James Clerk Maxwell*

1864年，Maxwell 提出描述電磁場之 Maxwell 方程，用四個偏微分方程概括一切電磁現象，事實上他由此計算出電磁波傳遞的速度等同於光速，因此斷言光是一種電磁波。

$$\begin{cases} \text{curl } H &= \frac{1}{c} \frac{\partial(\epsilon E)}{\partial t} \\ \text{curl } E &= -\frac{1}{c} \frac{\partial(\mu H)}{\partial t} \\ \text{div}(\epsilon E) &= \rho \\ \text{div}(\mu H) &= 0 \end{cases}$$



**Heinrich Rudolf Hertz** was a German physicist who clarified and expanded the electromagnetic theory of light that had been put forth by **Maxwell**. He was the first to satisfactorily demonstrate the existence of **electromagnetic waves** by building an apparatus to produce and detect **VHF** or **UHF radio** waves.



1901年，Guglielmo Marconi 利用電磁波實現了橫跨大西洋的無線通訊。

[http://episte.math.ntu.edu.tw/people/p\\_maxwell/index.html](http://episte.math.ntu.edu.tw/people/p_maxwell/index.html)

**STUCC K.H. Cheng**



## 1.1 射頻概念—IEEE 頻譜

頻段	頻率	波長
ELF	30~300Hz	1000~10000km
VF	300~3000Hz	100~1000km
VLF	3~30KHz	10~100km
LF	300k~3MHz	1~10km
MF	3~30MHz	0.1~1Km
HF	30~300MHz	10~100m
VHF	300M~3GHz	1~10m
UHF	3~30GHz	10~100cm
SHF	30~300GHz	1~10cm
EHF	300~3000GHz	0.1~1cm

頻段	頻率	波長
P	0.23~1GHz	30~130cm
L	1~2GHz	15~30cm
S	2~4GHz	7.5~15cm
C	4~8GHz	3.75~7.5cm
X	8~12.5GHz	2.4~3.25cm
Ku	12.5~18GHz	1.67~2.4cm
K	18~26.5GHz	1.13~1.67cm
Ka	26.5~40GHz	0.75~1.13cm
毫米波	40~300GHz	1~7.5mm
微米波	300~3000GHz	0.1~1mm

頻率高於多少時即需要考慮  
射頻電路分佈參數的影響？



## 1.1 射頻概念—為何採用高頻通信？

1. 工作頻率越高，頻寬越大。舉例：

假設傳輸訊號時所需要的頻寬為工作頻率的10%，當工作頻率為1MHz時，其頻寬為 $1\text{MHz} \times 10\% = 0.1\text{MHz}$ ；當工作頻率為1GHz時，其頻寬為 $1\text{GHz} \times 10\% = 100\text{MHz}$ 。

2. 工作頻率越高，天線尺寸越小。波長=光速÷頻率。電磁波的速度在空氣或真空中皆為光速，即每秒行走 $3 \times 10^8\text{m}$ 。舉例：

以藍芽或是無線網路2.4GHz為例 波長= $3 \times 10^8\text{m} / 2.4 \times 10^9 = 12.5\text{公分}$

3. 射頻電路中電感、電容等元件的尺寸變小，這使得射頻設備的體積可以進一步減小。

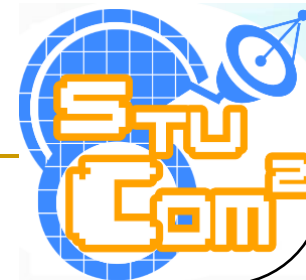
4. 通信頻道之間的頻率間隙增大，減少了頻道間的互相干擾。

5. 射頻通訊可以提供更多的可用頻譜，解決頻率資源日益緊張的問題。



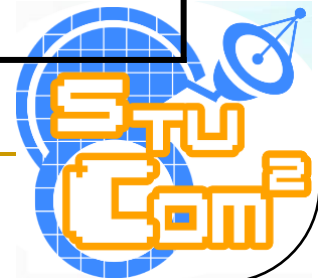
## 1.2 射頻通信電路應用簡介

系統名稱	IS-54	IS-95	GSM	CT2	DSC1800	DECT
上行頻帶	869~894MHz	869~894MHz	890~915MHz	864~868MHz	1805~1880MHz	1880~1900MHz
下行頻帶	824~849MHz	824~849MHz	935~960MHz	864~868MHz	1710~1785MHz	1880~1900MHz
頻寬(MHz)	50	50	50	4	150	20
多工技術	TDMA/FDMA	CDMA/FDMA	TDMA/FDMA	FDMA	TDMA/FDMA	TDMA
通道寬度	30KHz	1250KHz	200KHz	100KHz	200KHz	1728
通道數	832	20	124	40	375	10
用戶數	2496	15960	992	40	5984	120
雙工方式	FDD	FDD	FDD	TDD	FDD	TDD
Bit rate	48.6kbps	288kbps	271	73	271	1152
調變方式	$\pi/4$ QPSK	BPSK/OQPSK	GMSK	FSK	GMSK	GMSK
移動峰值功率	0.6~3w	0.2~2w	2~20W	10mW	0.25~2W	250mW
移動平均功率	0.6~3w	0.2~2w	0.25~2.5W	5mW	0.03~0.25W	10mW

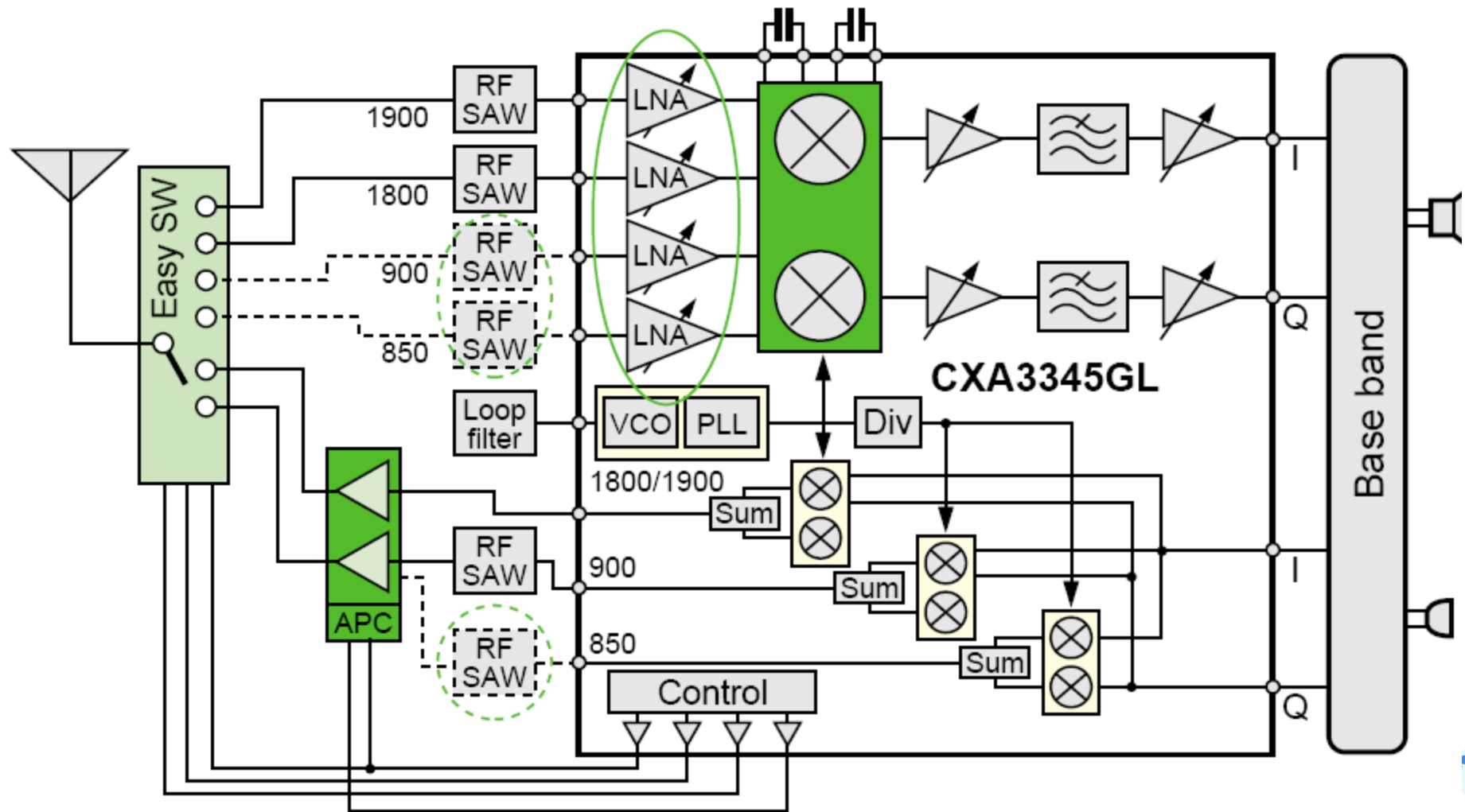


## 1.2 射頻通信電路應用簡介

	GSM900		GSM1800
頻段範圍	P band	G1abnd	Lband
上行頻帶/MHz(手機發射)	935~960	880~890	1710~1785
下行頻帶/MHz(基地台發射)	890~915	925~935	1805~1880
雙工間隔/MHz	45	55	95
佔用頻譜/MHz	2X25	2X10	2X75
通道數	124	49	374
ARFCN	1~124	975~1023	512~885
同時用戶數	992	392	2992
通道間隔	200KHz		
調變方式	GMSK(BXT)=0.3		
數據傳輸速率	270.88kbps		
Bit rate持續期	2.69uS		



## 1.2 射頻通信電路應用簡介



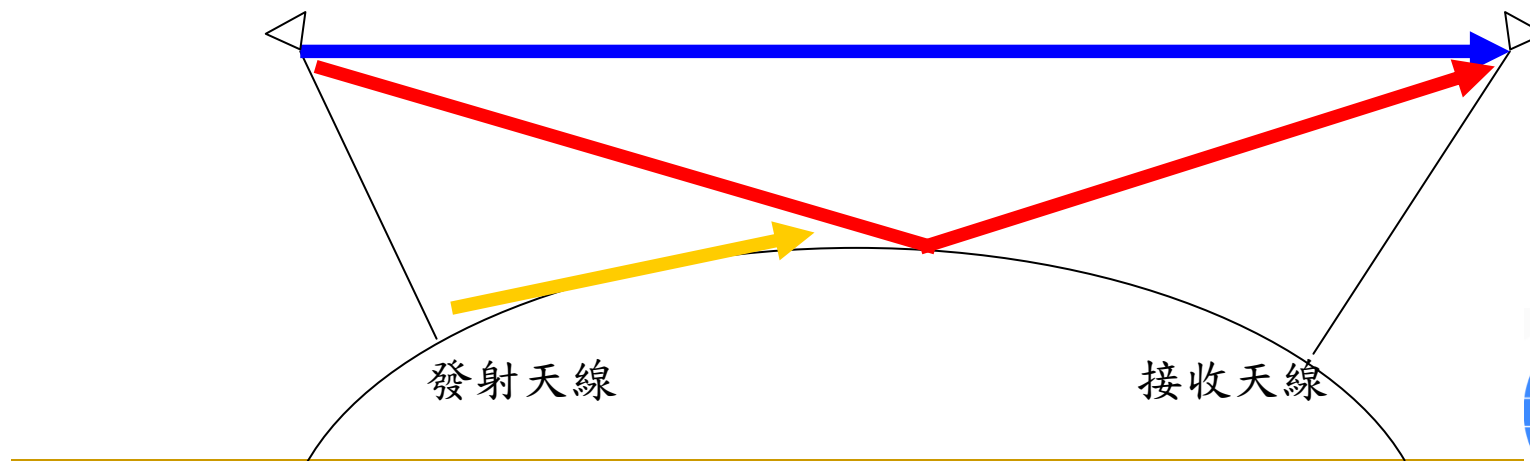
資料來源: [http://www.sony.net/Products/SC-HP/cx\\_news/vol28/pdf/gsm.pdf](http://www.sony.net/Products/SC-HP/cx_news/vol28/pdf/gsm.pdf)



## 1.3 無線通道中的電波傳播--電波傳遞路徑

當頻率 $>30\text{MHz}$ 時，典型的傳波路徑有三種：

1. 直接波:信號是從發射天線直接到達接收天線的電波，為VHF及UHF頻段的主要傳波方式。
2. 地面反射波:信號是經由地面反射到達接收天線。
3. 地表波:信號沿地球表面傳播的電波。由於地表波的損耗隨著頻率的升高而快速增加，傳播距離會迅速減少，因此UHF與VHF頻段地表波的傳播可以忽略不計。



## 1.4 無線通道的特徵

### 都卜勒效應(The Doppler Effect)

在無線移動的通信環境中，由於移動物體與週遭環境中許多反射體總是處於不斷運動中，因此所接收到的信號往往都會產生一些頻率上的誤差，這種變化現象就稱為”都卜勒效應”，這是任何波動過程都會具有的普遍特性。假設使用的是單路徑接收，則都卜勒頻移一般規定為：

$$f_d = \frac{v}{c} f_c \cos \alpha$$

其中， $v$ 為移動物體的速度； $c$ 為光速； $f_c$ 為載波頻率； $\alpha$ 為運動方向與發射機連線間的夾角。

在多路徑接收的情況中，通過多路徑到達的接收信號常常由於 $\alpha$ 的不同，會產生不同的都卜勒頻移，導致接收頻譜被展寬。假定在入射角均勻分布的情況下，則被展寬的功率密度頻譜可以透過下列公式計算出：

$$P(f) = \frac{1}{\pi} \frac{1}{\sqrt{f_d^2 - f^2}} \quad f_d \text{ 為最高都卜勒頻移}$$

一般而言，物體在高速運動時，都卜勒效應常常會導致快速衰弱因此移動的越快，衰弱變換頻率越高，衰弱深度就越深



## 1.4 無線通道的特徵

### 多路徑效應 (multipath effect)

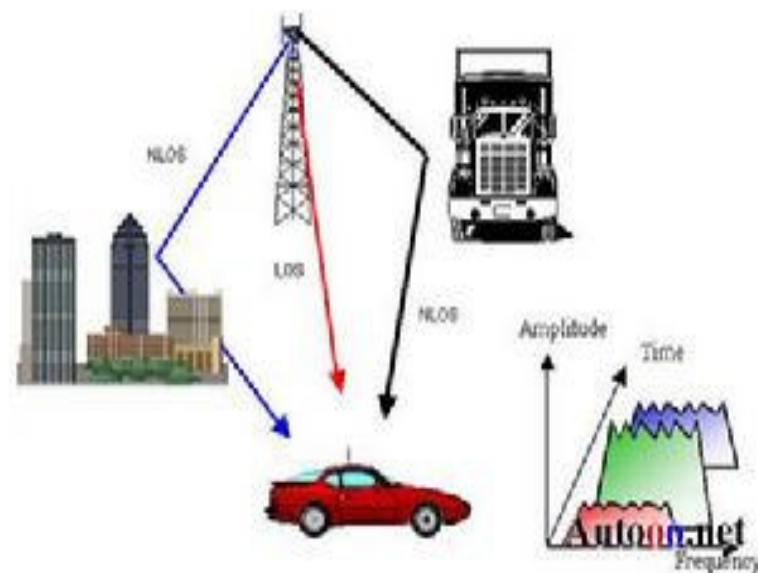
所謂多路徑效應就是信號被反射並回送的現象。在大多數情況下，多路徑效應會使接收到的信號被削弱或是被完全抵消，造成一些本來應該充分傳播信號的區域幾乎或根本沒有射頻信號覆蓋。

影響：

多徑會導致信號的衰落和相移。瑞利衰落就是一種衝激響應幅度服從瑞利分布的多徑信道的統計學模型。對於存在直射信號的多徑信道，其統計學模型可以由萊斯衰落描述。

在電視信號傳輸中可以直觀地看到多徑對於通信質量的影響。通過較長的路徑到達接收天線的信號分量比以較短路徑到達天線的信號稍遲。因為電視電子槍掃描是由左到右，遲到的信號會在早到的信號形成的電視畫面上疊加一個稍稍靠右的虛像。

基於類似的原因，單個目標會由於地形反射在雷達接收機上產生一個或多個虛像。這些虛像的運動方式與它們反射的實際物體相同，因此影響到雷達對目標的識別。為克服這一問題，雷達接收端需要將信號與附近的地形圖相比對，將由反射產生的看上去在地面以下或者在一定高度以上的信號去除。



## 1.4 無線通道的特徵

### 多徑效應 對抗措施

抗多徑干擾主要有如下幾個方面措施：

(1) 提高接收機的距離測量精度，  
如窄相關碼跟蹤環、相位測距、平滑偽距等；

(2) 抗多徑天線：**智慧天線**利用多個天線陣元的組合進行信號處理，自動調整發射和接收方向圖，以針對不同的信號環境達到最優性能。

(3) 抗多徑信號處理與自適應抵消技術等。

多徑干擾是由於在多用戶系統中採用傳統單用戶接收方案而造成的惡果。單用戶接收機採用匹配**濾波器**作為相關判決的工具，並不考慮多址干擾的存在，每個用戶的檢測都不考慮其他用戶的影響，是一種針對單用戶檢測的策略。一般說來，單個用戶傳輸時不存在多址干擾，但在多用戶環境中，當干擾用戶數增加或者他們的發射功率增加時，**多徑干擾**將不容忽視。因此多用戶檢測技術應允而生，其演算法有最優檢測演算法和次優檢測演算法。

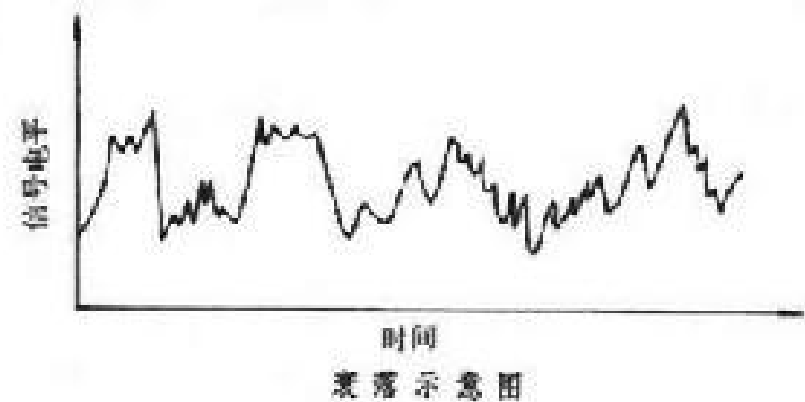


## 1.4 無線通道的特徵

### 慢衰落特性

發生原因：由於通信的過程中週圍地形、地物對信號的反射，導致信號電位在傳輸的範圍內有大幅的變化，即接收信號幅度隨時間的不規則變化（見圖）。

影響：(1)傳輸信號的品質  
(2)傳輸可靠度  
嚴重者會產生通信中斷



衰落主因：(1)多徑干涉→由於地面、大氣不均勻層或天線附近的地形地物的反射，也可能是由於電離層多次反射、電離層中的尋常波和非常波或天波和地波的同時出現。

(2)非正常衰減→降水衰減和次折射引起的繞射衰減





## 1.4 無線通道的特徵

### 傳輸失真

發生原因：(1)隨機多路徑效應  
(2)媒介色散效應

影響：對數位信號而言，會造成誤碼率上升；對於類比信號而言，則是產生振幅失真、相位失真

**多路徑效應：**當電波由2個或2個以上不同長度的路徑傳播到達接收點時，接收點的訊號是由幾個不同路徑上的信號疊加起來。由於傳播路徑長度的不同，信號再到達接收點的時間延遲是不同的。定義最大的傳輸延遲時間與最小傳輸延遲時間的差值稱為多路徑延遲時間，以  $\tau$  表示。過大的  $\tau$  會引起較明顯的信號失真。

**色散效應：**是只由於各種電波在頻率上的不同，會導致媒介中電波傳播的速度不一樣，進一步引起訊號失真。在我們所需要傳播的電波信號通常佔據一定的頻寬，那當電波經過媒介傳播到接收點時，會因為不同頻率的電波在媒介中傳播的速度不一樣，進而影響到信號到達接收點時的相位關係不同，從而引起波型失真。



## 1.5 干擾與雜訊

在移動通道中的雜訊來自：

### 1. 內部雜訊

- 內部雜訊主要由熱雜訊 (Thermal Noise) 所產生:此種雜訊的來源來自電阻性元件內部電子移動隨機所生的，其強度與電阻的環境絕對溫度成正比。
- $1/f$  雜訊 flicker noise:所有的半導體放大器都會有 $1/f$ 雜訊，也稱為閃爍雜訊(flicker noise)，它是由於材料而產生的一種基本現象。與頻率相反，在一個特定的雜訊拐點以下，雜訊密度將呈指數增加，而且在低頻時變得有非常大。
- 電源哼聲:為射頻迴路亂竄，而這射頻迴路如果像是電源線路一樣因為二極體有開關的動作，便會出現哼聲雜訊。要解決這哼聲雜訊，很簡單，通常以共模扼流圈就可以很有效地解決掉。

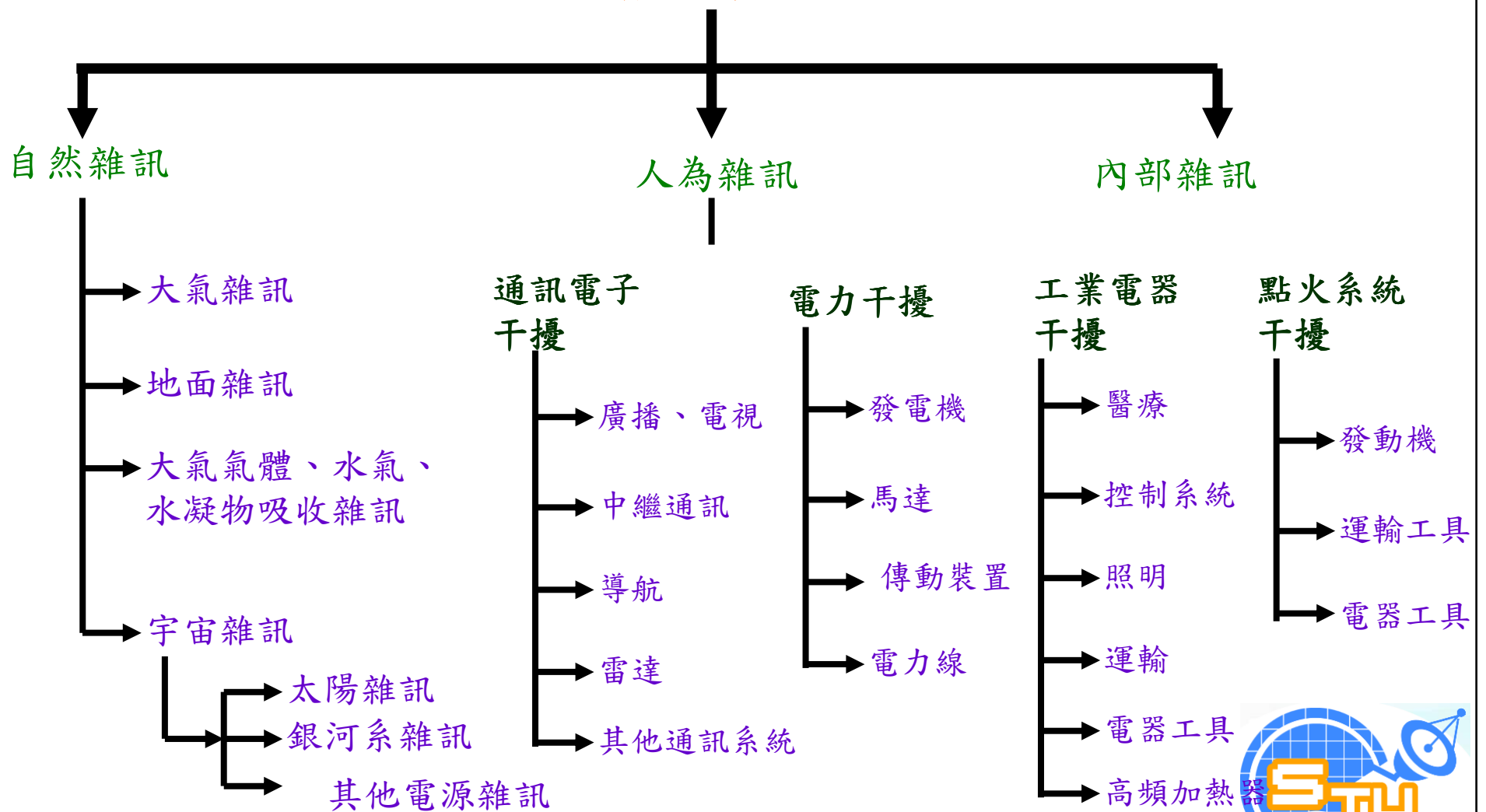
2. 自然雜訊:為外部雜訊，屬於隨機雜訊

3. 人為雜訊:為外部雜訊，屬於隨機雜訊



# 1.5 干擾與雜訊

## 雜訊分類





## 1.6 射頻電路的特點

~~克希荷夫電路理論可否應用在射頻電路分析？~~

由於射頻頻率的差異性與低頻或直流訊號差異性過大，因此無法使用克希荷夫電路理論來做分析 → 以波的形式來進行分析

### ➤ 頻率與波長

$f\lambda = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  → 頻率越高則波長越短

何謂射頻電路？ → 當電路尺寸與其操作的頻率波長相比擬時，電路可以稱為射頻電路。

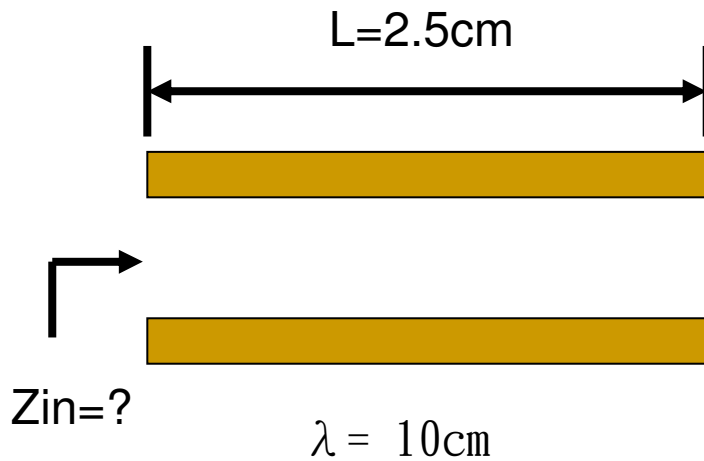
EX1. 50Hz的訊號屬於ELF頻段，請問屬於何種電路？

EX2. 手機所使用的頻率為1800MHz屬於何種電路？

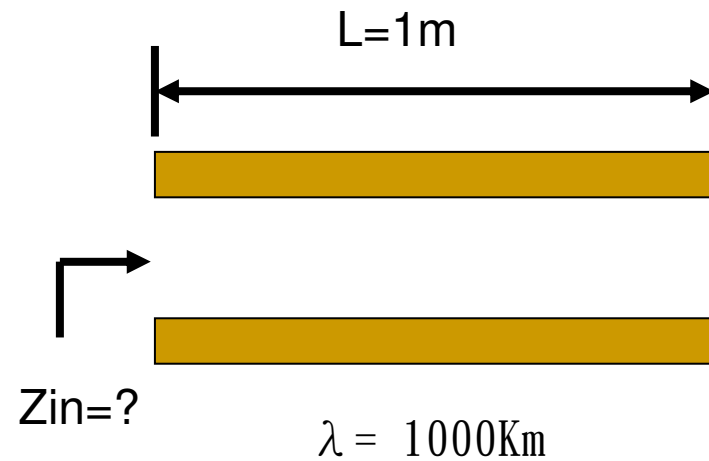


## 1.6 射頻電路的特點

- 低頻電路理論是射頻電路理論的特例



$$Z_{in} = jZ_o \tan \frac{2\pi}{\lambda} l$$



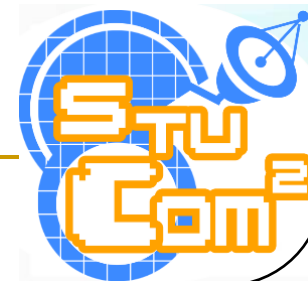
## 1.6 射頻電路的特點

### ➤ 分布參數

何謂總集元件(Lump Element)?

何謂分佈元件(Distributed Element)?

- ◆ 總集元件:是指一個獨立的區域性元件，能夠在一定的頻率範圍內提供特定的電路特性。適用在低頻電路設計時使用
- ◆ 分佈元件: 是指一個元件的特性延伸拓展到一定的空間範圍內，部在侷限於元件自身。由於分佈元件參數的電磁場分布在附近的空間中，其特性受到週遭環境的影響。
- ◆ 傳輸線上的分布參數
- ◆ 被動元件的寄生參數



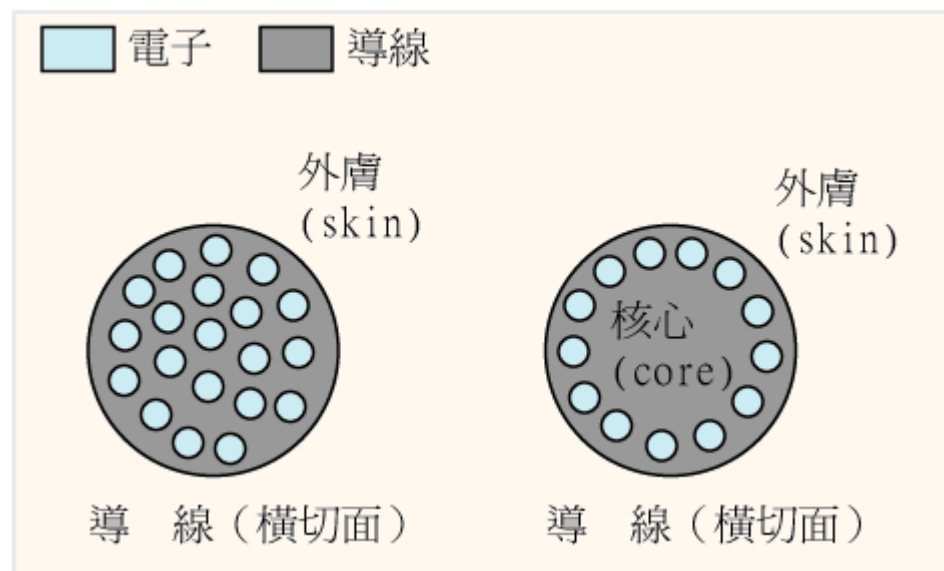
## 1.6 射頻電路的特點

### ➤ 集膚效應(Skin Effect)

是指導體中有交流電或者交變電磁場時，導體內部的電流分佈不均勻的一種現象。隨著與導體表面的距離逐漸增加，導體內的電流密度呈指數遞減，即導體內的電流會集中在導體的表面。從與電流方向垂直的橫切面來看，導體的中心部分電流強度基本為零，即幾乎沒有電流流過，只在導體邊緣的部分會有電流。簡單而言就是電流集中在導體的「皮膚」部分，所以稱為集膚效應。產生這種效應的原因主要是變化的電磁場在導體內部產生了渦旋電場，與原來的電流相抵消。

一般來說，在給定的頻率下，使得導線對交流電的電阻增加百分之十的直徑大約是：

$$D_w = \frac{200 \text{ mm}}{\sqrt{f/\text{Hz}}}$$



## 1.6 射頻電路的特點

### ➤ 集膚效應簡介

集膚效應最早在賀拉斯·蘭姆1883年的一份論文中提及，只限於球殼狀的導體。1885年，奧利弗·黑維塞將其推廣到任何形狀的導體。集膚效應使得導體的電阻隨著交流電的頻率增加而增加，並導致導線傳輸電流時效率減低，耗費金屬資源。在無線電頻率的設計、微波線路和電力傳輸系統方面都要考慮到集膚效應的影響。

### ➤ 減緩集膚效應的方法

一種減緩集膚效應的方法是採用所謂的利茲線（源自德語：*Litzendraht*，意為「編織起來的線」）。利茲線採用將多條金屬導線相互纏繞的方法，使得電磁場能夠比較均勻地分佈，這樣各導線上的電流分佈就會較為平均。使用利茲線後，產生顯著集膚效應的頻率可以從數千赫茲提高到數兆赫茲。利茲線一般應用在高頻交流電的傳輸中，可以同時減緩集膚效應和鄰近效應。高電壓大電流的架空電力線路通常使用鋼芯鋁絞線，這樣能使鋁質部分的工作部分溫度降低，減低電阻率，並且由於集膚效應，電阻率較大的鋼芯上承載極少的電流，因而無關緊要。還有將實心導線換成空心導線管，中間補上絕緣材料的方法，這樣可以減輕導線的重量。在傳輸的頻率在甚高頻或微波級別時，一般會使用鍍銀（已知的除超導體外最好的導體）的導線，因為這時集膚深度如此之小，以至於更厚的銀層已經是浪費了。



## 1.6 射頻電路的特點

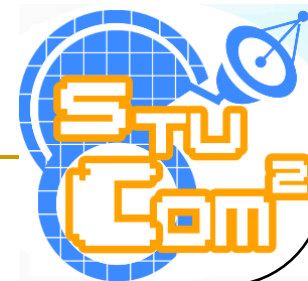
### ➤ 其它應用

集膚效應使得交變電流只通過導體的表面，因此電流只在其表面產生熱效應。鋼鐵工業中利用集膚效應來為鋼進行表面淬火，使鋼材表面的硬度增大。集膚效應也可以描述為：導體中交變電磁場的強度隨著進入導體的深度而呈指數遞減，因此在防晒霜中混入導體微粒（一般是氧化鋅和氧化鈦），就能使陽光中的紫外線（高頻電磁波）的強度減低。這便是物理防晒的原理之一。此外，集膚效應也是電磁屏蔽的方法之一，利用集膚效應可以阻止高頻電磁波透入良導體而作成電磁屏蔽裝置，這也是電梯裏手機信號不好的原因。

舉例：

在銅質導線中，集膚深度和頻率的關係大致如下：

頻率	$\delta$
60 Hz	8.57 mm
10 kHz	0.66 mm
100 kHz	0.21 mm
1 MHz	66 $\mu$ m
10 MHz	21 $\mu$ m



频率(kHz)	渗透深度(cm)	频率(kHz)	渗透深度(cm)
25	0.047	200	0.017
50	0.034	225	0.016
75	0.027	250	0.015
100	0.024	300	0.014
125	0.021	400	0.012
150	0.019	500	0.0106
175	0.018		