

# 應用於 LTE 4G Band 3 之整數型鎖相迴路

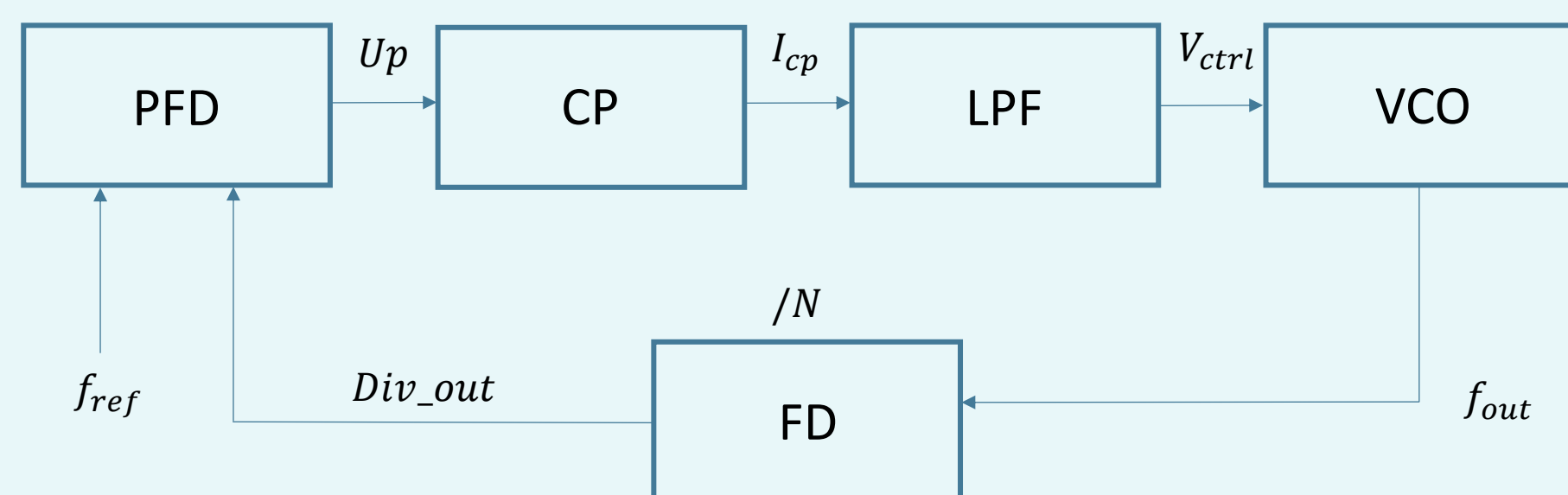
指導教授：吳建華 組員：余冠禎、張傑甯、袁嘉謙

## 摘要

本專題研究針對 LTE 4G Band 3 頻段設計一整數型鎖相迴路，以 TSMC 0.18  $\mu\text{m}$  RF CMOS 製程實現，輸出頻率為 1.8 GHz、參考頻率為 20 MHz。整體架構採用 LC 壓控震盪器，二階迴路濾波器與預充電式相位頻率偵測器，並透過優化充電泵電流匹配與調整迴路參數以提升鎖定精度、降低抖動以增進整體系統穩定度。模擬結果顯示 PLL 在典型製程下鎖定時間約為 5  $\mu\text{s}$ ，輸出頻率達 1.8 GHz，整體功耗約 120 mW，鎖定時電壓抖動約 14 mV，晶片面積為  $578 \times 751 \mu\text{m}^2$ 。

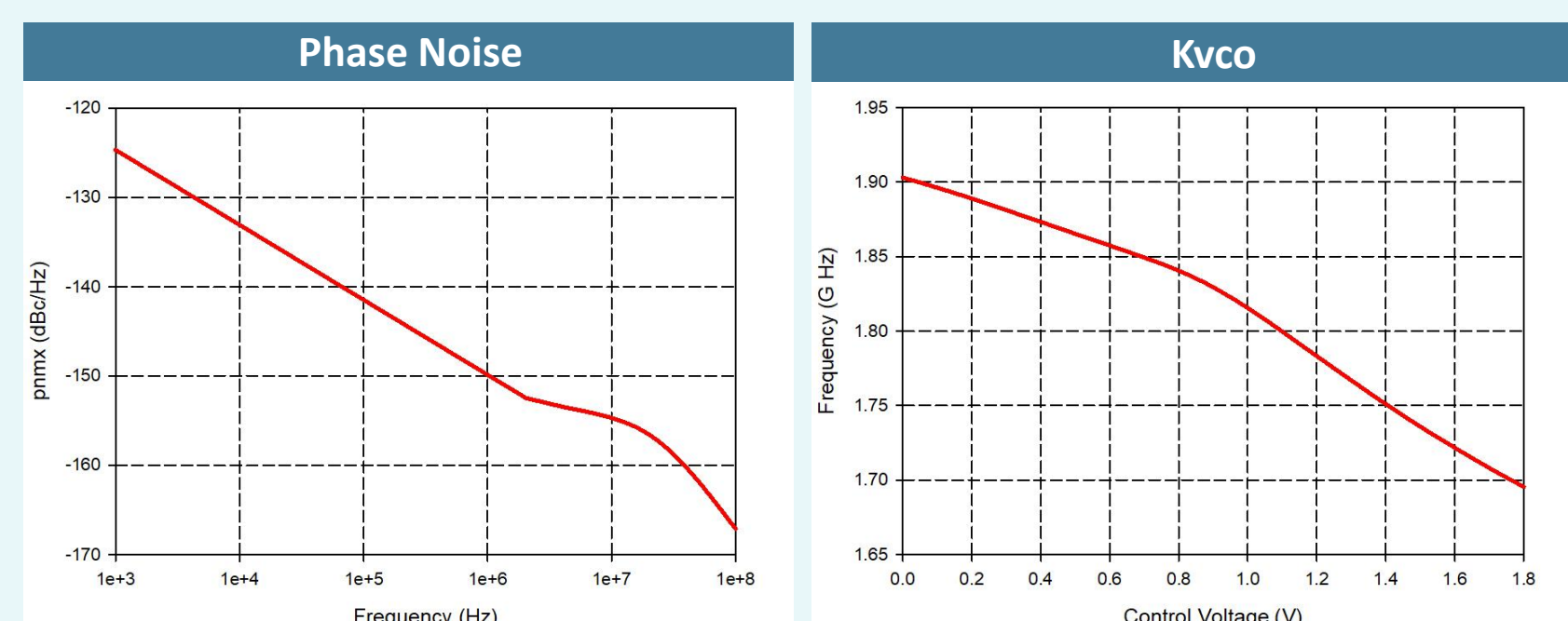
## 基本架構

傳統鎖相迴路可以看作五個子電路的集合，其中包括相位頻率偵測器(Phase frequency detector, PFD)、充電泵(Charge pump)、迴路濾波器(Loop filter, LF)、電壓控制震盪器(Voltage-controlled oscillator, VCO)以及除頻器(Frequency divider, FD)。其工作原理可視為一個負回授系統，在負回授機制下，PLL 會持續調整輸出訊號的頻率，直到回授訊號和參考訊號在相位和頻率上達成一致，便完成鎖定。



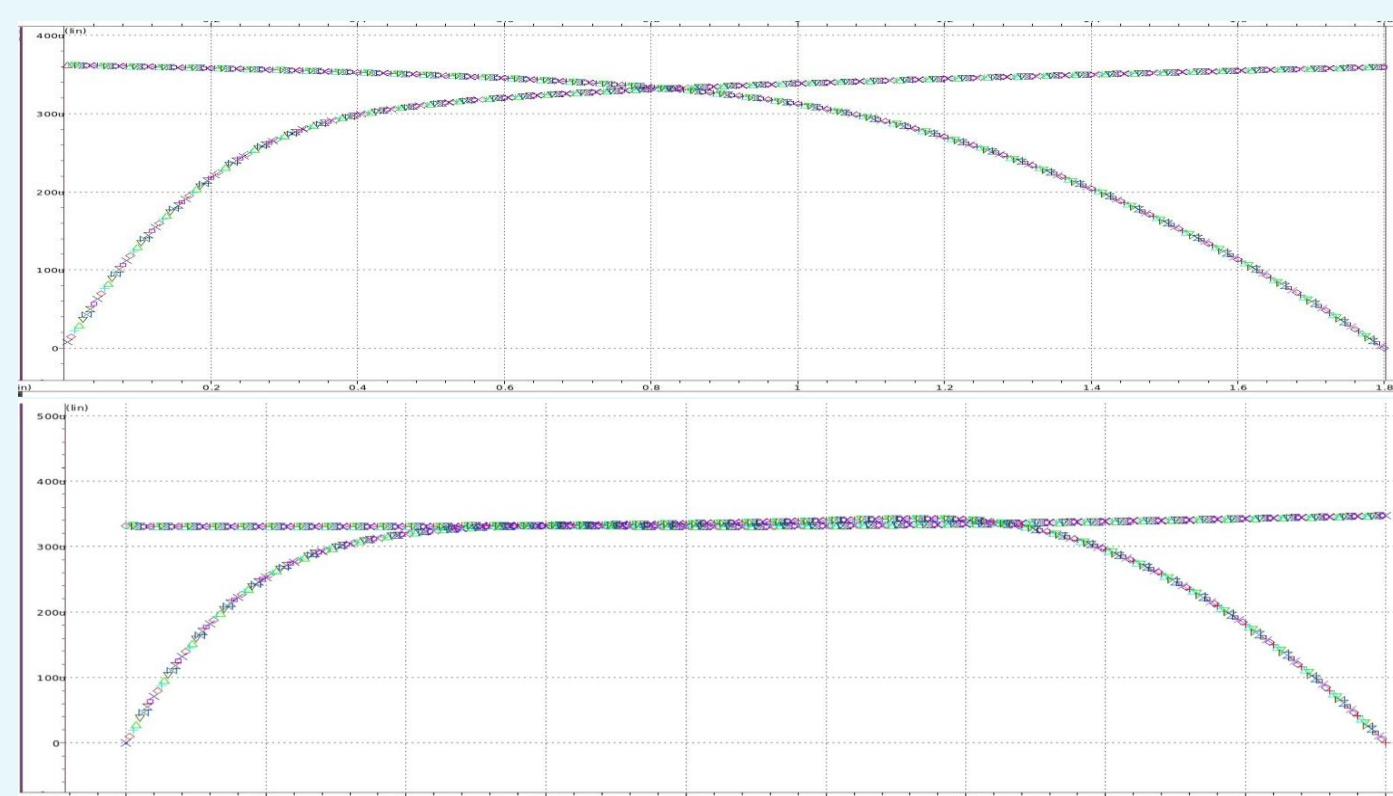
## Voltage-controlled oscillator

使用互補式交互耦合對 (Complementary Cross-Coupled Pair) 架構，考慮到外部干擾，於架構中加入 Tail current source 與 Buffer，以降低 Pushing effect 與 Pulling effect 對震盪頻率的影響。另一方面，在可變電容部分採用 I-mode Varactor，並以三對 Varactor 並聯配置，藉此補償電晶體與寄生效應造成的等效電容過大問題，擴大 VCO 的調頻範圍並提升整體穩定度。



## Charge Pump

充電泵的非線性傳輸是使鎖相迴路系統整體非線性的主要來源之一，這種非線性主要來自 up 與 dn 電流不匹配，而不匹配的原因可能是輸出電壓改變並透過通道長度調變效應影響，可以利用增加兩個額外回授電晶體，透過負回授來彌補充電泵通道長度調變所引起的電流偏差，本次鎖相迴路中充電泵將使用此架構來進行。

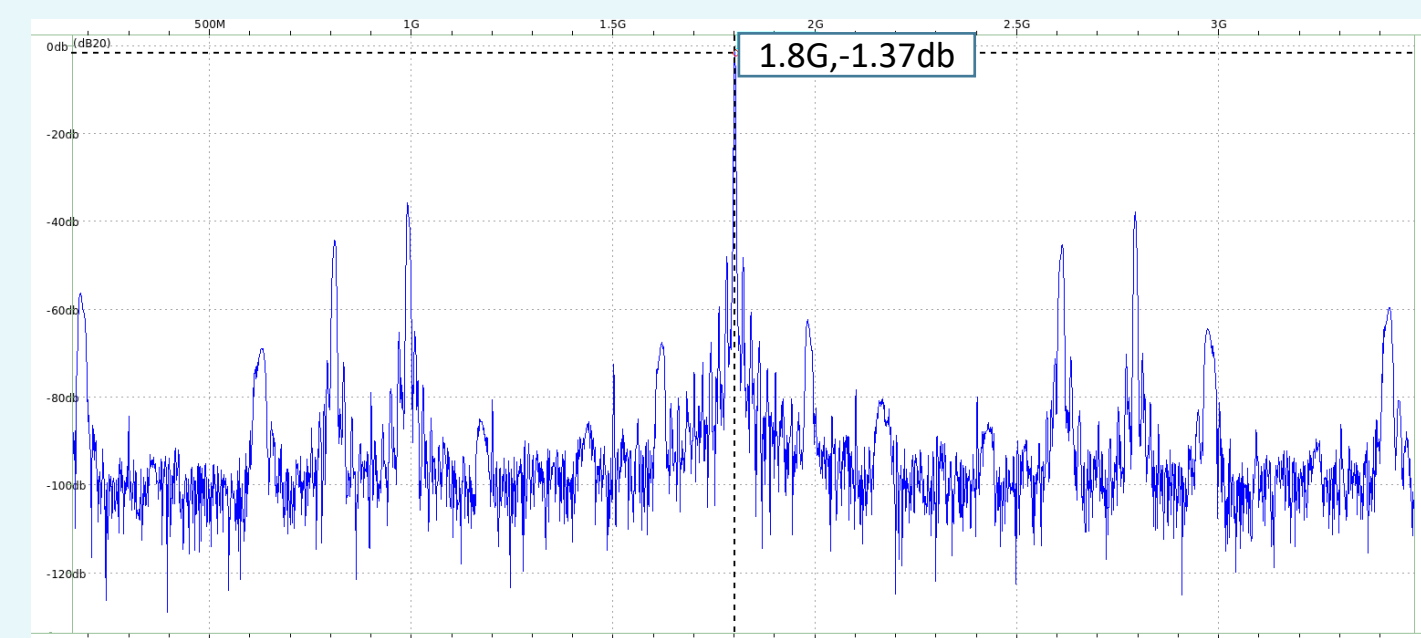
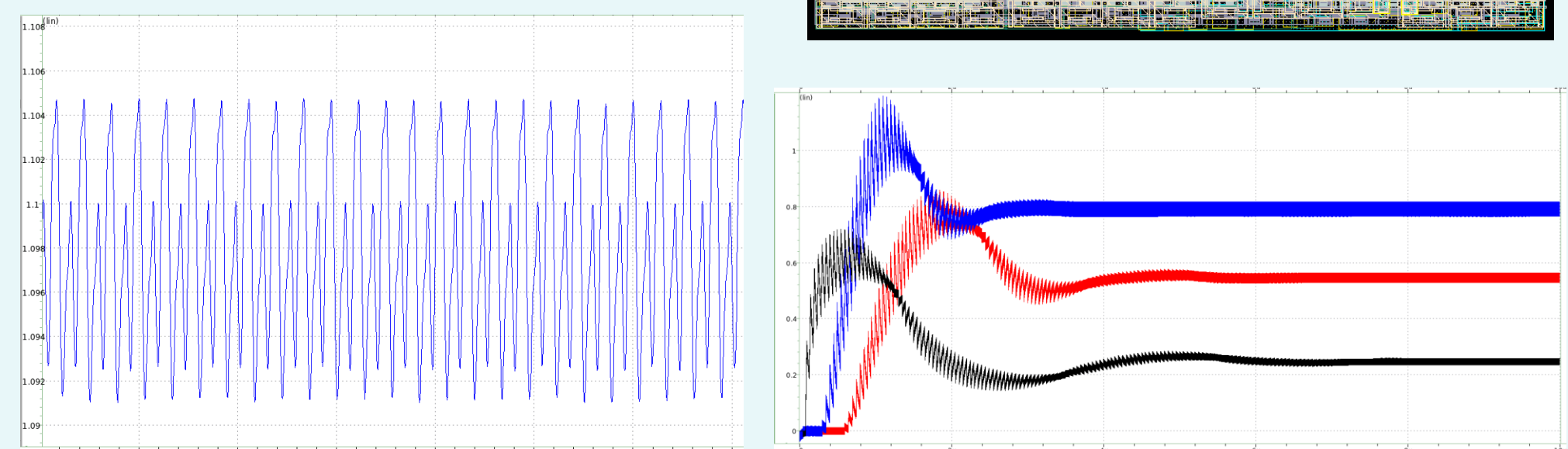
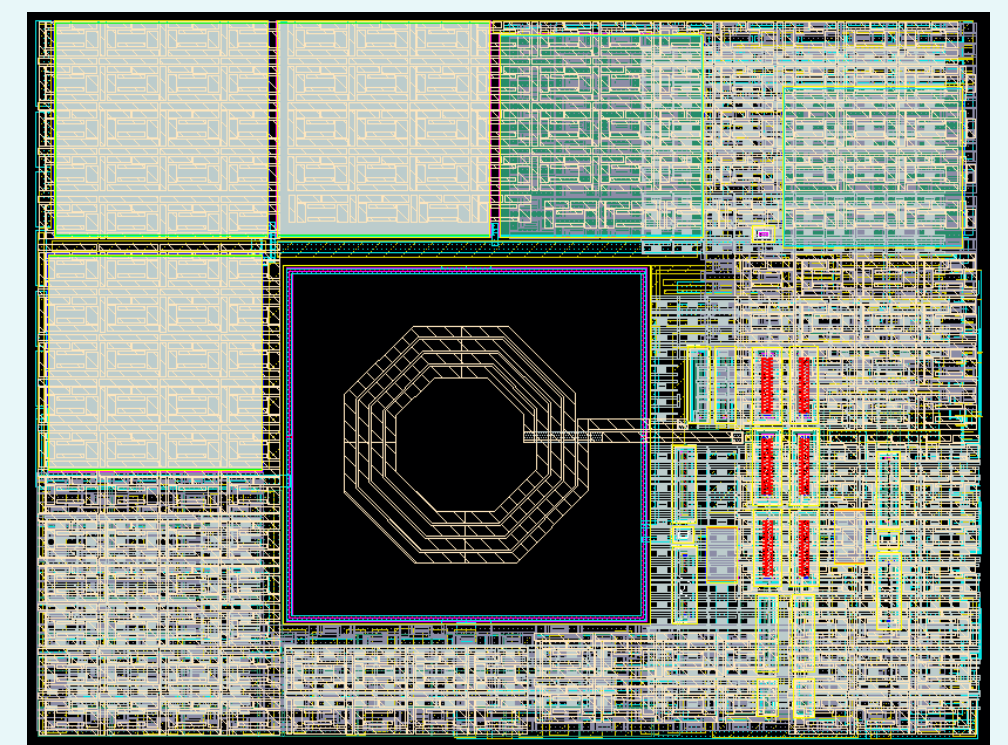


## Phase Frequency Detector

傳統 PFD 回授式重置路徑 (feedback reset path) 存在固有傳播延遲，其限制了電路的最大操作頻率，以及 Dead Zone 的產生，本次使用預先充電型 PFD (Pre-charged PFD) 架構，架構移除了回授重置路徑，減少了死區的範圍，故 PFD 能夠偵測微小的相位差，以確保鎖相迴路達成高準確度且穩定的鎖定狀態。

## 實驗結果

Process Tech	TSMC 0.18 $\mu\text{m}$
Output frequency (GHz)	1.8
Power (mW)	120
Core area ( $\mu\text{m}^2$ )	578 x 751
Core $V_{DD}$ (V)	1.8
Typical Lock Time ( $\mu\text{s}$ )	5



電壓	溫度	TT	FF	SS
1.62V	-55°C	5.6 $\mu\text{s}$	4 $\mu\text{s}$	6.8 $\mu\text{s}$
	25°C	5.6 $\mu\text{s}$	4.5 $\mu\text{s}$	失敗
	125°C	5.6 $\mu\text{s}$	4 $\mu\text{s}$	失敗
1.8V	-55°C	5 $\mu\text{s}$	4 $\mu\text{s}$	6.9 $\mu\text{s}$
	25°C	5 $\mu\text{s}$	4.3 $\mu\text{s}$	6.1 $\mu\text{s}$
	125°C	5 $\mu\text{s}$	3.6 $\mu\text{s}$	失敗
1.98V	-55°C	3 $\mu\text{s}$	3.6 $\mu\text{s}$	失敗
	25°C	4 $\mu\text{s}$	3.8 $\mu\text{s}$	4.2 $\mu\text{s}$
	125°C	4.8 $\mu\text{s}$	3.6 $\mu\text{s}$	4.3 $\mu\text{s}$

## 結論

在 PVT 變異條件下，系統於部分 Corner 仍出現鎖定失敗的情況，顯示穩定性尚有改善空間。此外本次設計中充電泵電流達 340  $\mu\text{A}$ ，使得系統整體功耗偏高，也是後續需要改善的部分之一。針對部分 Corner 無法鎖定的問題，希望透過數位校正和自適應偏壓技術來對電路進行改善，進一步提升電路在不同製程與環境條件下的穩定性，同時降低整體功耗，實現更具實用性和可靠的 PLL 系統。