

# 60GHz注入同期型周波数逡倍器の I/Qミスマッチに関する検討

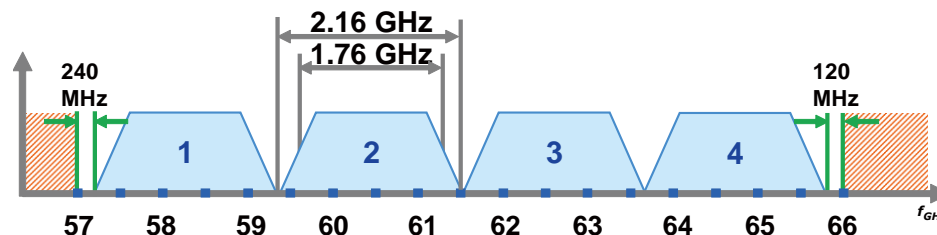
◎山口 達也, 岡田 健一, 松澤 昭

東京工業大学 大学院理工学研究科  
電子物理工学専攻

- 研究背景
- 60GHz注入同期型周波数逡倍器
  - 直交位相出力
  - 差動出力の20GHz PLLとの組み合わせ
- I/Qミスマッチに関する検討
- 計算・シミュレーション結果
- まとめ



Channel Number	Low Freq. (GHz)	Center Freq. (GHz)	High Freq. (GHz)	Nyquist BW (GHz)	Roll-Off Factor
A1	57.24	58.32	59.40	1.76	0.25
A2	59.40	60.48	61.56	1.76	0.25
A3	61.56	62.64	63.72	1.76	0.25
A4	63.72	64.80	65.88	1.76	0.25



[1] IEEE 802.15.3c



Wireless HD



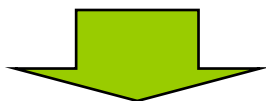
ECMA-387



IEEE 802.11ad

## 60GHz帯の特徴

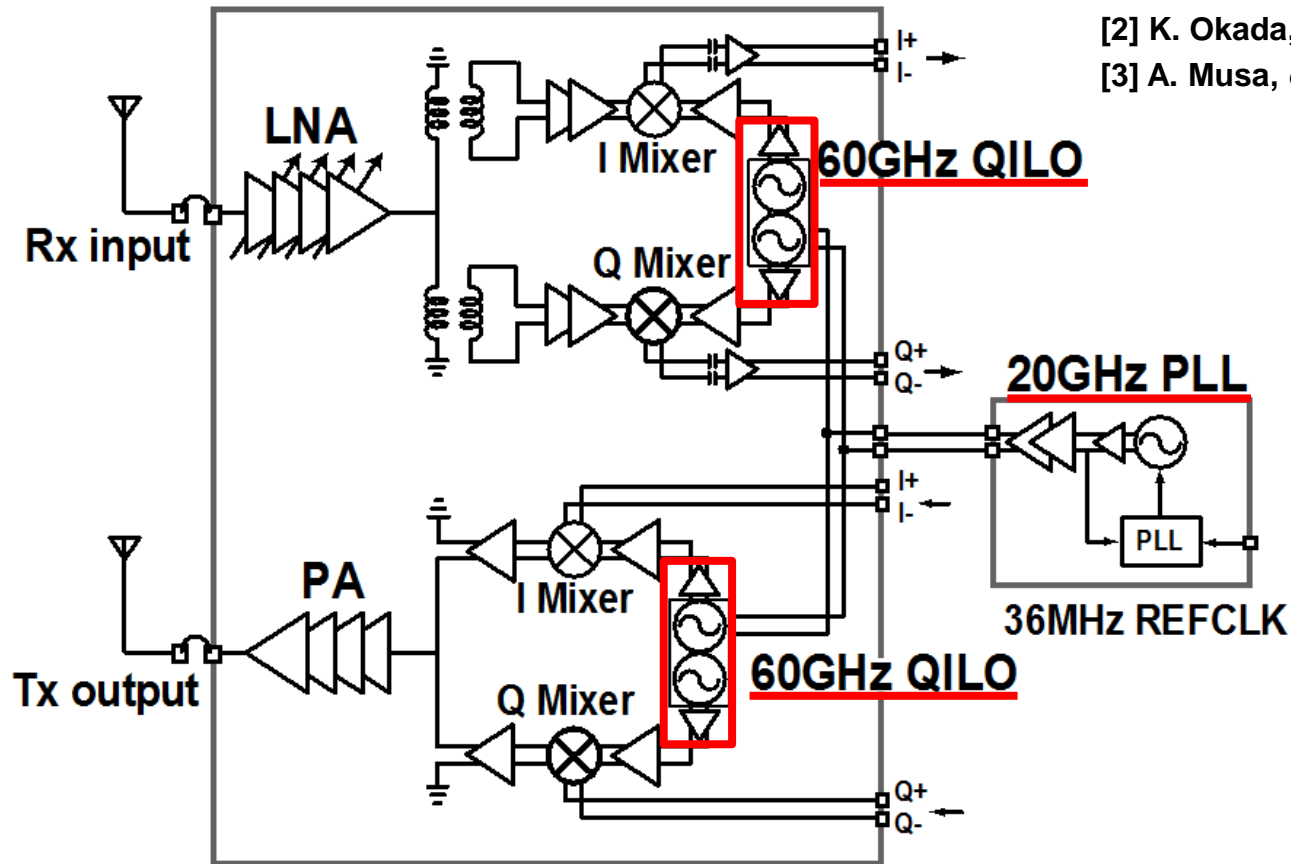
- ☹️ 伝搬中の減衰が大きい
- 😊 干渉しにくく、幅広い帯域が無免許で開放されている



近距離高速無線通信への利用が期待される

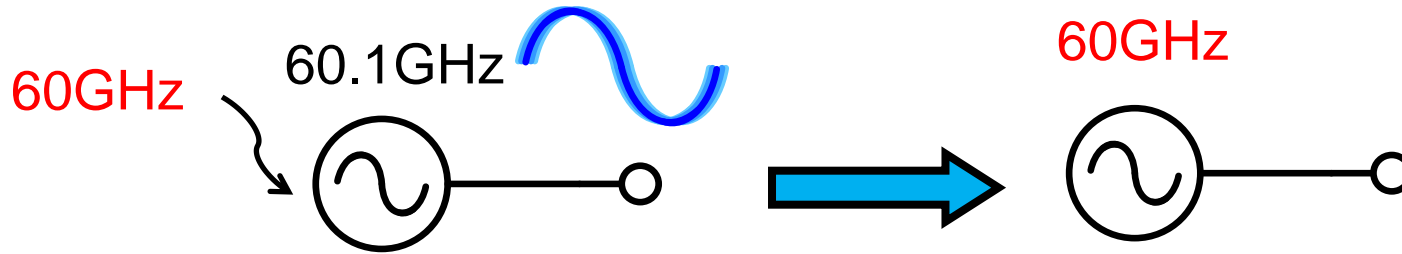
- 57.24GHz – 65.88GHz
- 2.16GHz/ch x 4ch
- QPSK ⇒ 3.5Gbps/ch
- 16QAM ⇒ 7.0Gbps/ch
- 64QAM ⇒ 10.6Gbps/ch



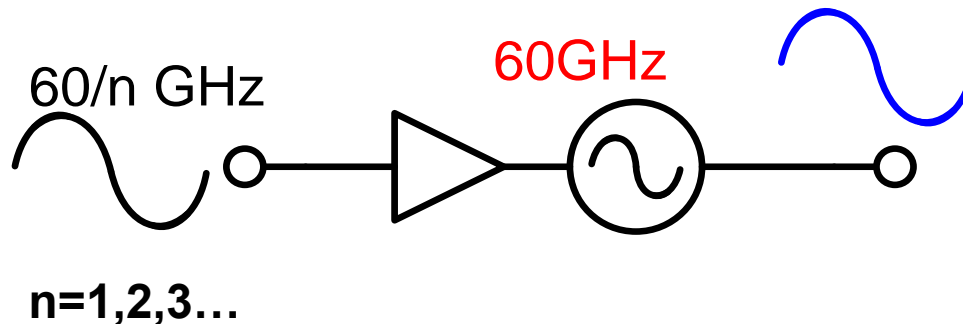


- ダイレクトコンバージョン方式、Si CMOSプロセス
- LO: 20GHz PLL + 60GHz注入同期型周波数逡倍器(QILO)
- 直交位相のずれ(I/Qミスマッチ)が通信の品質に影響

## Pulling of VCOs



## Injection lock



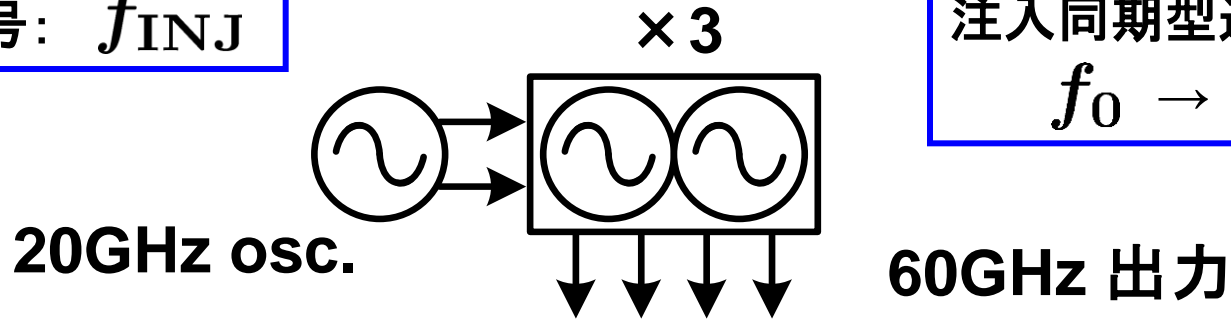
Pulling (プリング)を  
意図的に起こすこと  
で周波数をロックする

**Pullingを積極的に用いた発振器 : ILO**

# 60GHz QILOとI/Qミスマッチ

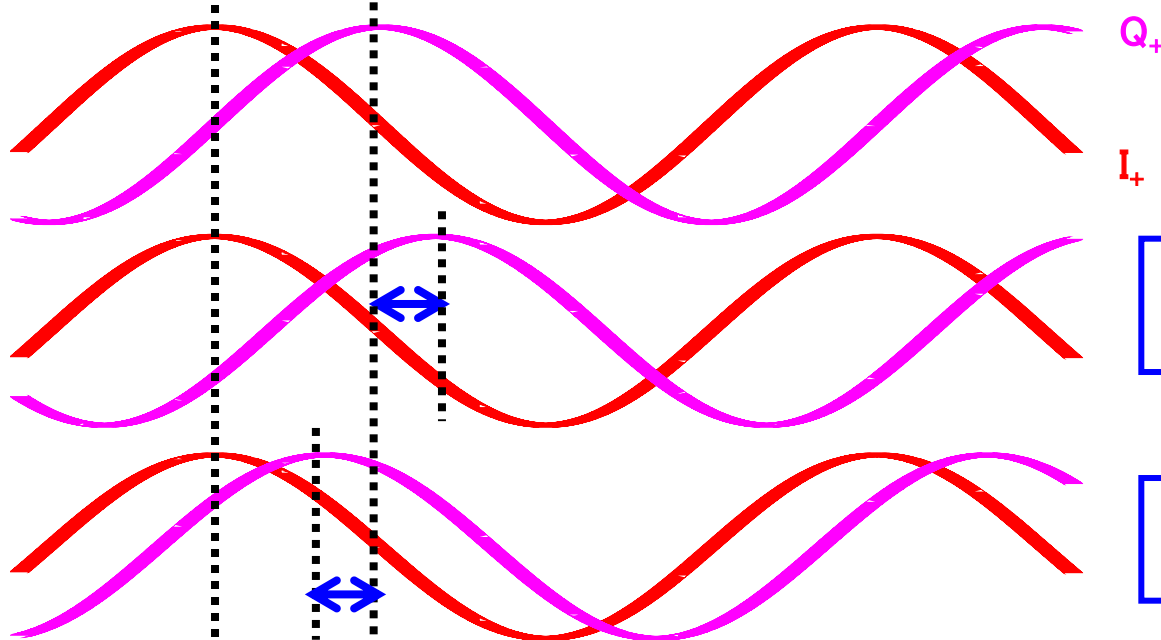
注入同期信号:  $f_{INJ}$

注入同期型逓倍器:  
 $f_0 \rightarrow f_{INJ}$



位相誤差

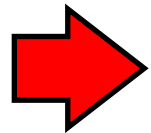
$\Delta\theta$



Ideal

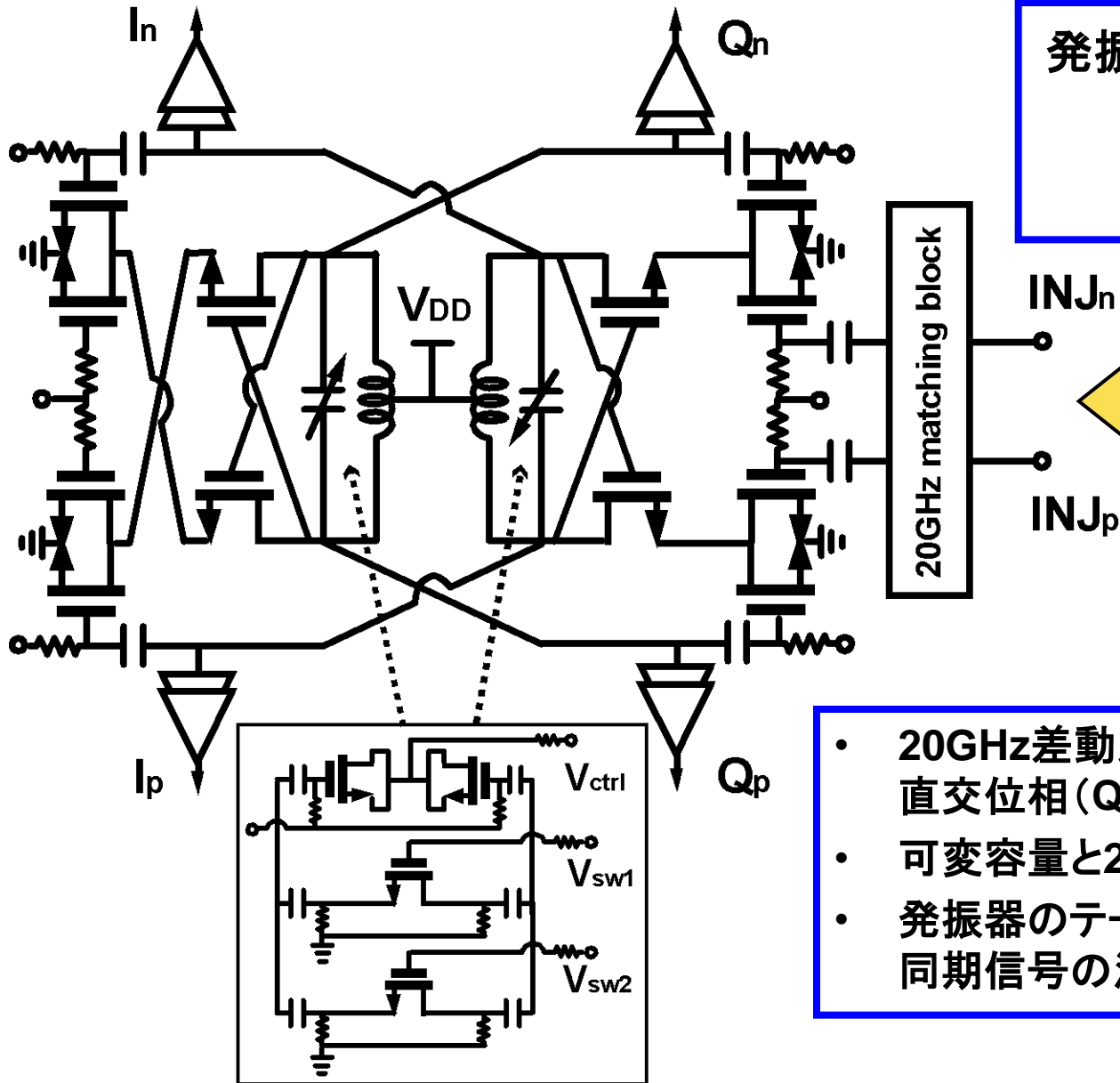
I/Q mismatch  
(例:  $\Delta\theta = +30\text{deg.}$ )

I/Q mismatch  
(例:  $\Delta\theta = -30\text{deg.}$ )



周波数と位相誤差の関係に注目

# 60GHz QILOの回路構成



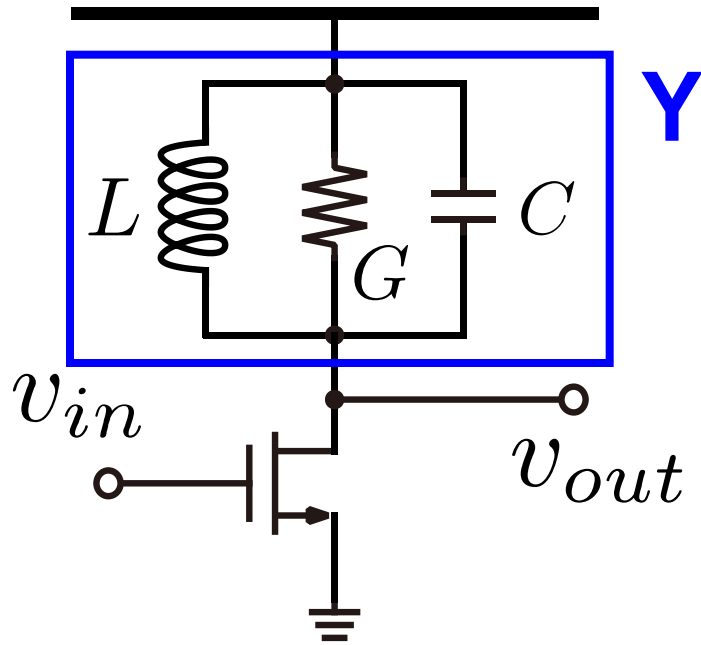
発振 (Free-run) 周波数

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

20GHz PLLからの  
差動入力

- 20GHz差動入力、直交位相 (Quadrature) 出力
- 可変容量と2段のスイッチトキャパシタ
- 発振器のテール電流源でI/Qの生成と同期信号の注入 (片側注入) を行う

# 位相誤差 $\Delta\theta$ の計算



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q = \frac{1}{\omega_0 LG}$$

$$= \frac{\omega_0 C}{G}$$

$$Y = G + jB$$

$$= G + j \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right)$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{g_m}{Y}$$

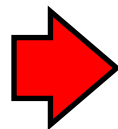
$$= -\frac{g_m}{G^2 + B^2} (G - jB)$$

$$\angle \left( \frac{v_{out}}{v_{in}} \right) = \tan^{-1} \left[ \frac{-B}{G} \right]$$

$$= \tan^{-1} \left[ Q \left( \frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]$$

ここで  $\omega_0 = \omega + \Delta\omega$  とおき、  
 $\omega_0 \gg \Delta\omega$  と近似することで、

$$\therefore \tan(\Delta\theta) \simeq 2Q \left( \frac{\omega}{\omega_0} - 1 \right)$$

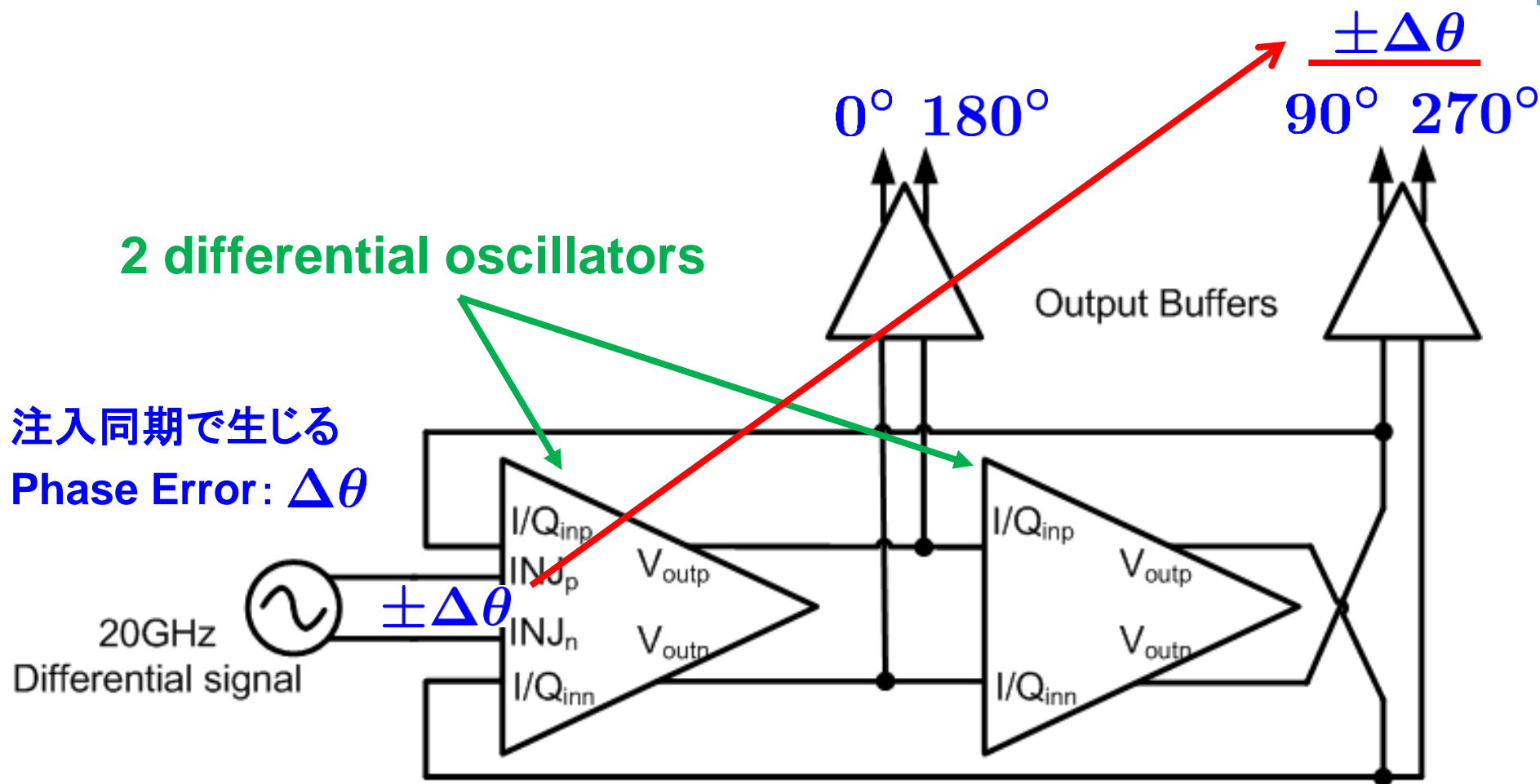


$$\tan(\Delta\theta) \simeq 2Q \left( \frac{f_{INJ}}{f_0} - 1 \right)$$



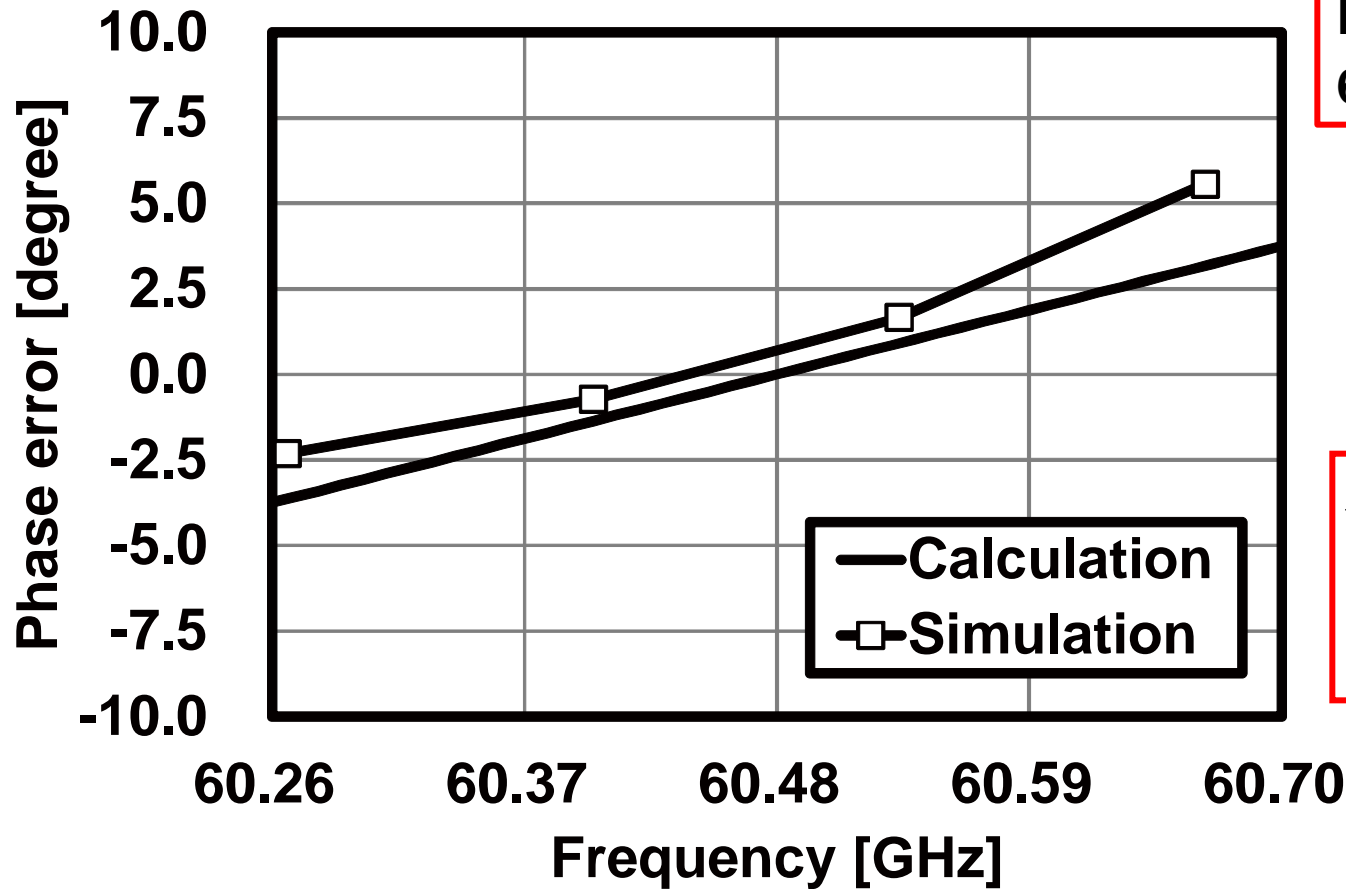
# QILOのブロックダイアグラム

8

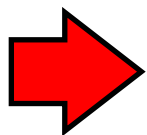


➡ 注入同期で生じる位相誤差を計算とSim.で比較

Free-run周波数:  
60.48GHz(一定)



$$\tan(\Delta\theta) \approx 2Q \left( \frac{f_{\text{INJ}}}{f_0} - 1 \right)$$



注入同期信号とFree-runとの周波数差が大きくなるにつれ、位相誤差が大きくなる

- 60GHz注入同期型周波数逡倍器のI/Qミスマッチについて検討  
→ Free-run周波数とInjection周波数の関係に注目
- Free-run周波数とInjection周波数の差が小さいとき、位相誤差が小さくなることを理論計算およびシミュレーションを用いて示した
- ダイレクトコンバージョン型60GHz帯無線送受信機を用いた実測との比較・検討を行うことが今後の課題である

- [1] IEEE 802.15.3c
- [2] K. Okada, *et al.*, ISSCC 2011
- [3] A. Musa, *et al.*, A-SSCC 2010

