# วงจรปรับเฟสของสัญญาณทางดิจิตอลแบบ CORDIC

ภาคภูมิ บุญญานันต์

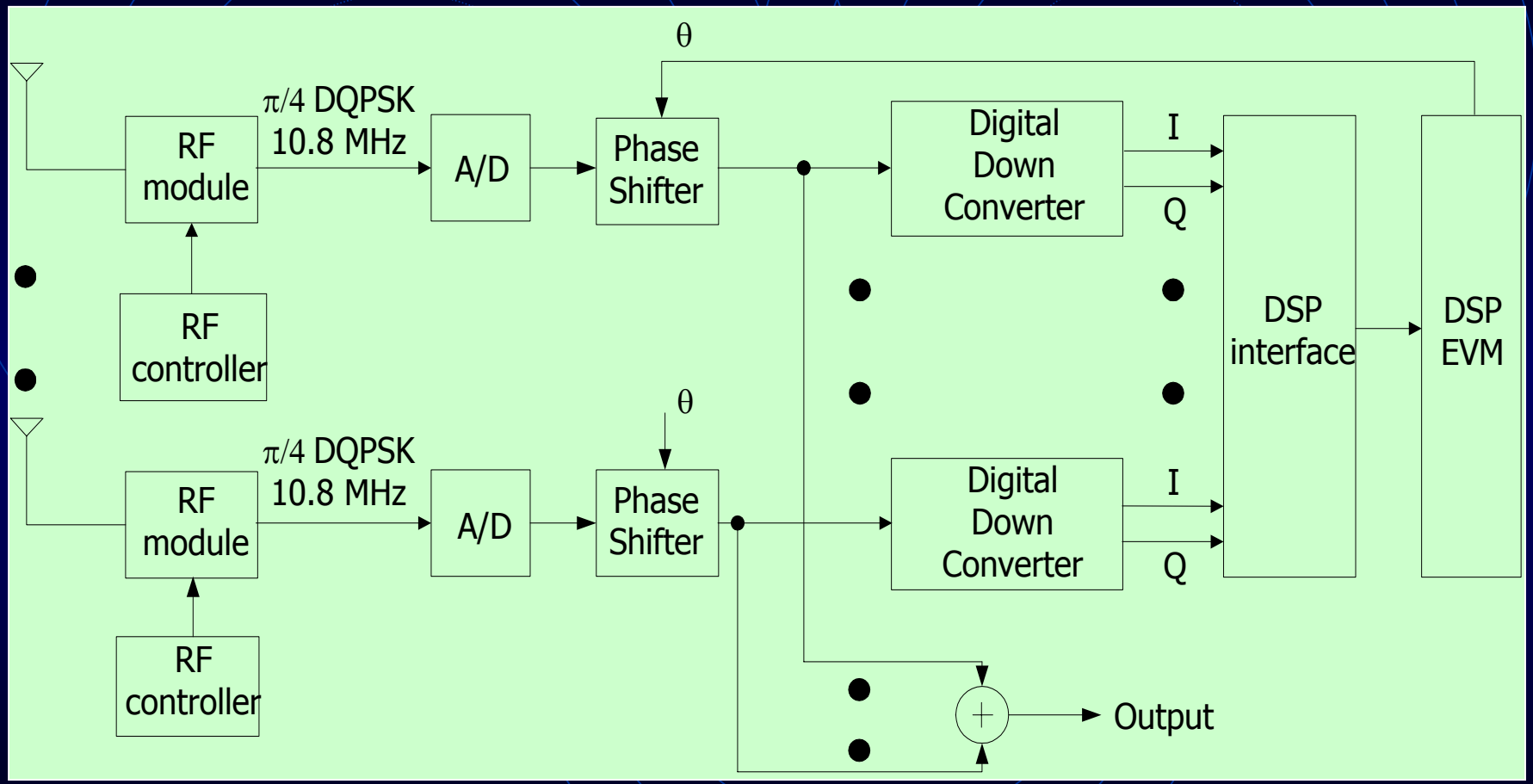
ฝ่ายวิจัยและพัฒนาสาขาโทรคมนาคม

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

# วงจรปรับเฟสของสัญญาณทางดิจิตอลแบบ CORDIC

- การปรับเฟสในสายอากาศฉลาด
- CORDIC Algorithm
- การปรับเฟสโดยใช้ CORDIC
- ผลของ Timing Jitter ต่อการปรับเฟสแบบ CORDIC
- สรุป

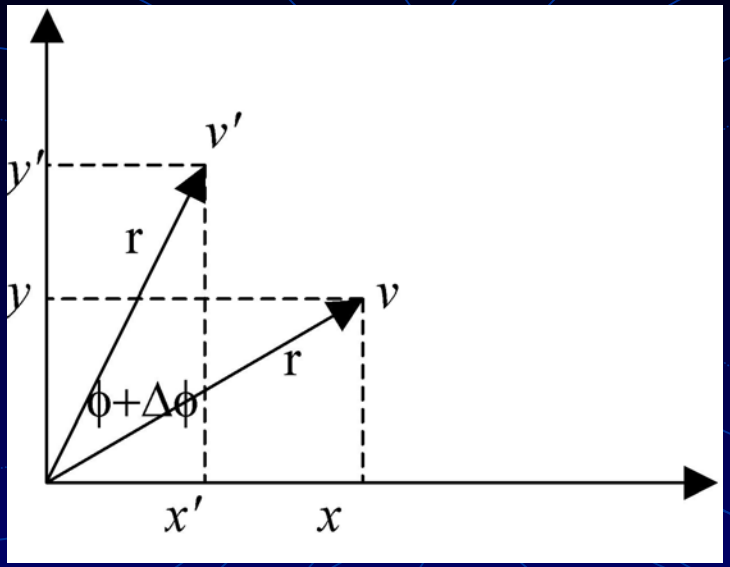
# การปรับเฟสในสายอากาศฉลาด



# CORDIC Algorithm

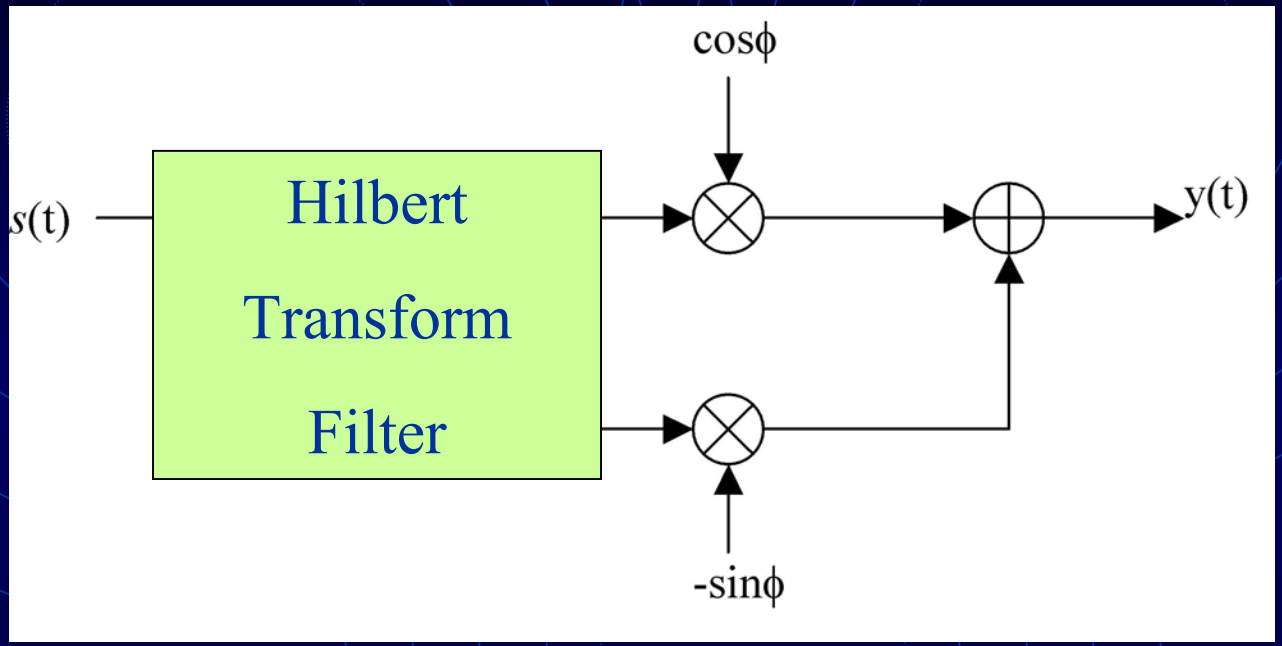
- CORDIC ย่อมาจาก COordinate Rotation Digital Computer
- การประยุกต์ใช้งาน
  - Vector rotation
  - Rectangular $\leftrightarrow$ polar
  - Trigonometry
  - Square root
  - Hyperbolic, Logarithm, Exponential
  - Fourier Transform (FFT, DCT)
  - Singular Value Decomposition

# CORDIC Algorithm




$$
\begin{aligned}
x' &= r\cos(\phi+\Delta\phi) \\
&= r\cos(\phi)\cos(\Delta\phi) - r\sin(\phi)\sin(\Delta\phi)] \\
&= x\cos(\Delta\phi) - y\sin(\Delta\phi) \\
&= \cos(\Delta\phi)(x - y\tan(\Delta\phi)) \\
y' &= \cos(\Delta\phi)(y + x\tan(\Delta\phi))
\end{aligned}
$$

# การปรับเฟสโดยใช้ CORDIC



# การปรับเฟสโดยใช้ CORDIC

**IF narrowband Signal**

$$y(t) = s(t)\cos\phi - s(t-T_s)\sin\phi$$

$$= a(t)\cos(\omega_c t + \theta(t))\cos\phi - a(t-T_s)\cos(\omega_c(t-\pi/2) + \theta(t-T_s))\sin\phi$$

$$= a(t)\cos(\omega_c t + \theta(t) + \phi)$$

# ผลของ Timing Jitter ต่อการปรับเฟสแบบ CORDIC

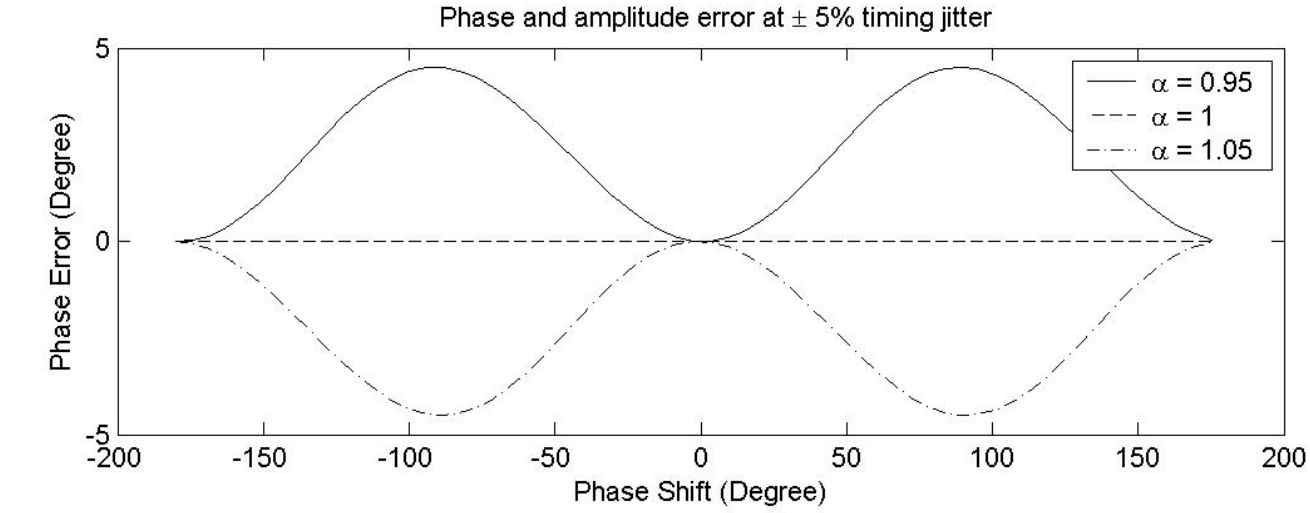
$$y(t) = a(t)\{\cos(\omega_c t + \theta(t))\cos\phi - \cos(\omega_c (t - aT_c/4) + \theta(t))\sin\phi\}$$
$$= a(t)\cos(\omega_c t + \theta(t) + \varphi(a, \phi))$$

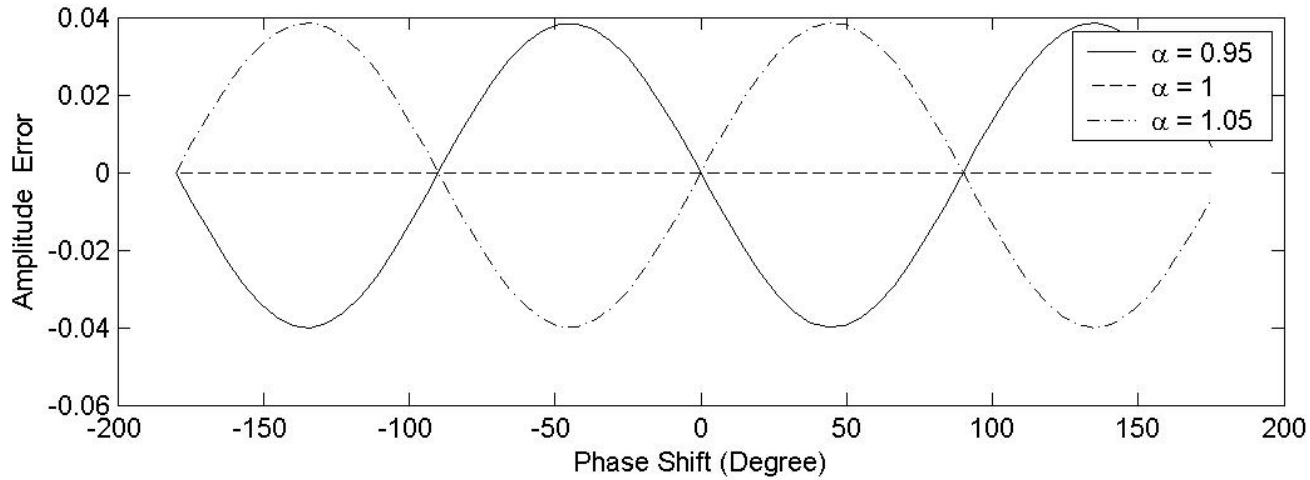
$$\varphi(a, \phi) = \tan^{-1}\{\sin(\varphi(a, \phi))/\cos(\varphi(a, \phi))\}$$
$$\sqrt{(x'^2 + y'^2)} = \sqrt{(\cos^2(\varphi(a, \phi)) + \sin^2(\varphi(a, \phi)))}$$

โดยที่

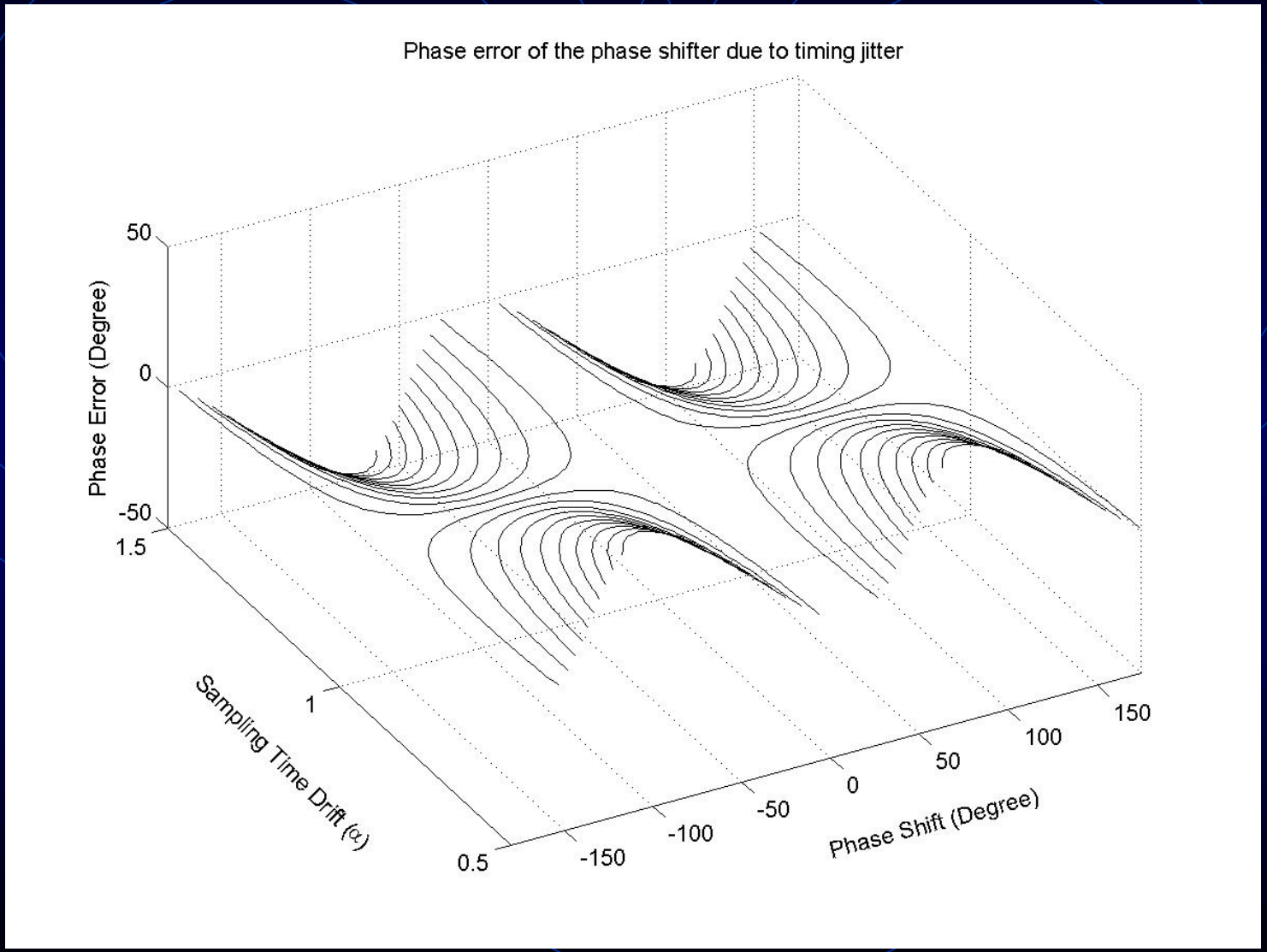
$$\cos(\varphi(a, \phi)) = \cos\phi - \cos(a\pi/2)\sin\phi$$
$$\sin(\varphi(a, \phi)) = \sin(a\pi/2)\sin\phi$$

# ผลของ Timing Jitter ต่อการปรับเฟสแบบ CORDIC

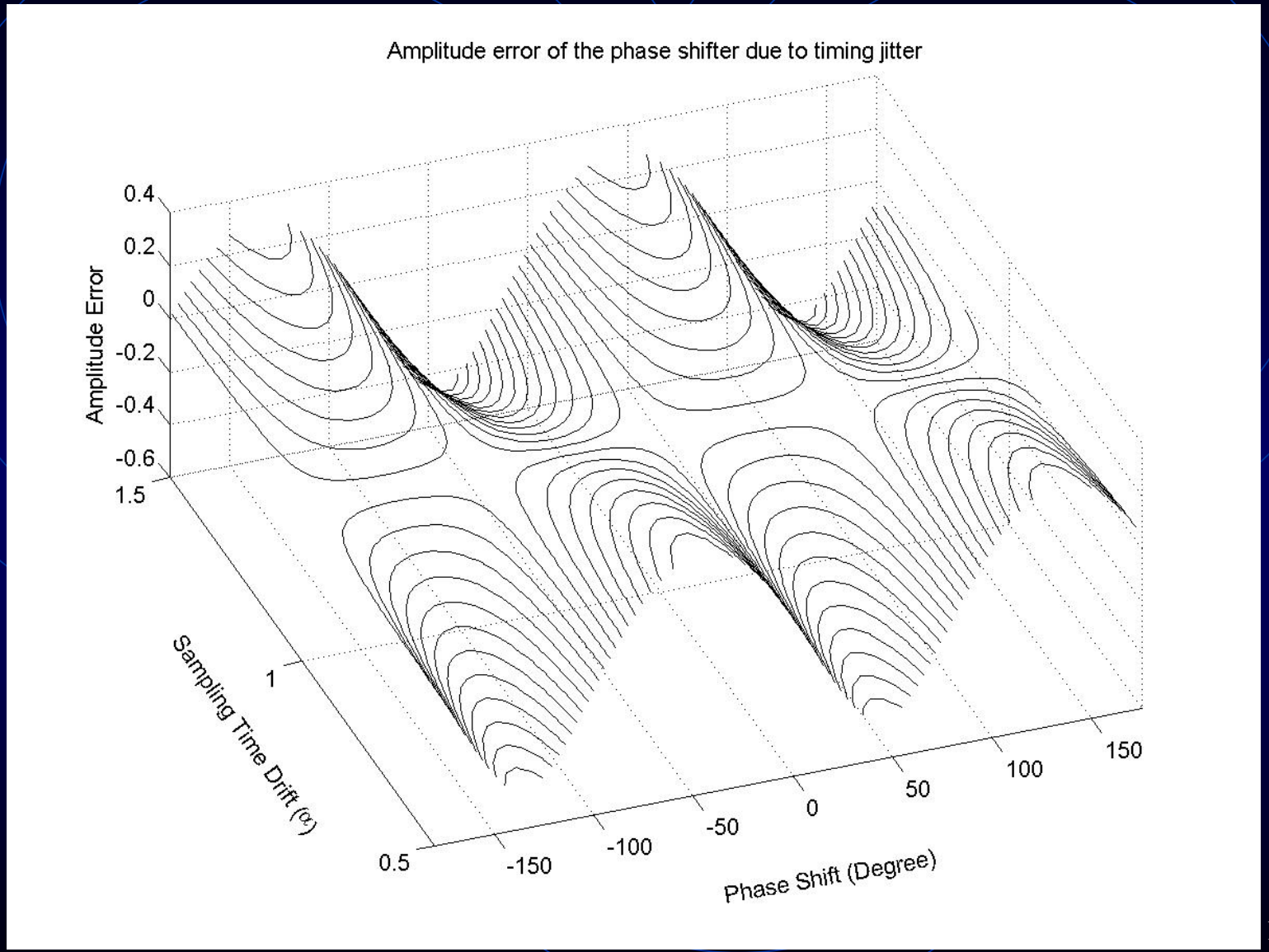


# ผลของ Timing Jitter ต่อการปรับเฟสแบบ CORDIC



# ผลของ Timing Jitter ต่อการปรับเฟสแบบ CORDIC



# สรุป

- เสนอวงจรปรับเฟสโดยใช้ CORDIC
- ปรับเฟสแบบดิจิตอล ด้วย FPGA
- อาศัย Hilbert Transform Filter หรือ วงจร PLL เพื่อสร้าง Clock สำหรับเลื่อนสัญญาณไป 90 องศา
- ที่ Timing Jitter เท่ากับ ±5% ของความถี่ในการสุ่ม วงจรปรับเฟสที่เสนอจะมีค่าผิดพลาดประมาณ 4.5°