

Capítulo 2 · Compuertas Lógicas en el Marco Sigma-computing

De la Ontología TMRCU a la Implementación Experimental con SigmaFET

Autor: Genaro Carrasco Ozuna · Proyecto TMRCU · Fecha: Septiembre 2025

Introducción

La computación de coherencia (Sigma-computing) surge como aplicación inmediata del SigmaFET. Si el Capítulo 1 estableció el mapa y la brújula con el SigmaMP v2.0, este capítulo construye la arquitectura lógica: cómo un conjunto de transistores de coherencia implementa compuertas Sigma-lógicas equivalentes a AND, OR, NOT y sus extensiones cuánticas.

Ontología de la Compuerta Sigma-lógica

- Bit clásico → Estado de coherencia parcial: un '0' se interpreta como $R(t) \approx 0$; un '1' como $R(t) \geq 0.8$.
- Qubit Sigma → Superposición de coherencia: estados con $0 < R(t) < 1$ corresponden a mezclas de fases.
- Compuerta lógica → Operación de acoplo sincronizado: AND, OR y NOT se definen como configuraciones de locking.

Formalismo Matemático

Las dinámicas de fase se modelan con ecuaciones de Kuramoto acopladas: $\dot{\theta}_i = \omega_i + \sum_j K_{ij} \sin(\theta_j - \theta_i)$. Aquí θ es la fase de cada SigmaFET, ω su frecuencia natural y K el acoplo controlable. Compuertas Sigma-lógicas: - Sigma-AND: la salida se estabiliza sólo si ambas entradas alcanzan locking simultáneo. - Sigma-OR: basta que una entrada supere el umbral de acoplo. - Sigma-NOT: se implementa forzando $\Delta\theta = \pi$ entre salida e input.

Arquitectura Experimental

- Disposición en red: cada SigmaFET es un nodo y las compuertas se forman ajustando los acoplos K .
- Entrada: señales RF/ópticas moduladas en coherencia.
- Salida: lectura espectral y de fase mediante detectores lock-in.
- Validación: se mide $R_{out}(t)$ y LI_{out} , comparándolos con SigmaMP v2.0.

Datos de Prueba (Conceptuales)

- Sigma-AND en VO2: $LI_{out} \approx 0.85$ con dos entradas coherentes; $LI_{out} \approx 0.2$ con una sola. - Sigma-OR en SHNO: $R_{out} \approx 0.78$ con una entrada; $R_{out} \approx 0.9$ con dos. - Sigma-NOT en CMOS-VCO: salida en antifase estable durante 10^3 ciclos.

Proyección

- Nivel 1 (clásico Sigma-logic): AND/OR/NOT reproducidos con SigmaFET individuales.
- Nivel 2 (qubits Sigma): superposición controlada con estados parciales de locking.
- Nivel 3 (Sigma-computing universal): compuertas Sigma-CNOT y Sigma-Hadamard construidas con acoplo de fase + inversión de coherencia.

Conclusión

Las compuertas Sigma-lógicas constituyen los bloques fundamentales de la ingeniería de coherencia. Con ellas, el SigmaFET pasa de ser un dispositivo experimental a piedra angular de la computación de coherencia. El esquema se completa: el Ajuste Global fija dónde buscar, el SigmaMP define qué medir, y las compuertas Sigma muestran cómo construir.