
Manual de Banco Expandido (v3)

SYNCTRON/ Σ FET \rightarrow Rectificador de Empuje Cuántico (RE-Q)

Autor: Genaro Carrasco Ozuna
Arquitectura Paradigmática y Diseño Experimental

20 de noviembre de 2025

Resumen

Este documento consolida la guía operativa paso a paso para la implementación del banco de pruebas **RE-Q (Rectificador de Empuje Cuántico)**. Su propósito es instrumentar la teoría TMRCU mediante la preparación de un núcleo de alta coherencia (Σ), la imposición de gradientes controlados y el acoplamiento de transductores para auditar la firma DCA (Direct Coherence Amperage). El manual integra metas cuantitativas basadas en la literatura reciente (SHNO, VO, PMN-PT) y establece los criterios de auditoría científica.

Índice

1. Protocolos de Seguridad y Consideraciones Previas	2
2. Arquitectura de Materiales (BOM Resumida)	2
3. Fase 0: Preparación y Caracterización del Núcleo	3
4. Fase 1: Inyección de Empuje (Q) y Locking	3
5. Fase 2: Gradiente y Rectificación (RE-Q)	3
6. Fase 4: Auditoría TMRCU y Métricas de Validación	5
6.1. Criterios de Aceptación (Σ -Metrics)	5
7. Checklist de Ejecución y Trazabilidad	5

1. Protocolos de Seguridad y Consideraciones Previas

Antes de iniciar cualquier procedimiento de sincronización o rectificación, es imperativo establecer un entorno controlado. La manipulación de dispositivos de alta frecuencia y sensibilidad coherencial requiere rigor.

PRECAUCIÓN: Integridad del Entorno

- **Blindaje Electromagnético:** Todo el banco debe operar dentro de una jaula de Faraday o utilizar blindajes de ferrita localizados y tierra única para evitar bucles de masa que introduzcan ruido espurio.
- **Control Térmico:** Las fluctuaciones térmicas pueden destruir la coherencia de fase. Utilice sondas y/o cámaras térmicas para monitorear la estabilidad del banco.
- **Protección ESD:** Los dispositivos nano/micro (SHNO, VCO) son extremadamente sensibles a descargas electrostáticas. Use muñequeras y tapetes antiestáticos.
- **Seguridad Óptica:** Si se utilizan láseres para la inyección o medición, emplee gafas certificadas para la longitud de onda específica.

2. Arquitectura de Materiales (BOM Resumida)

El núcleo del experimento reside en el Σ FET. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas para las tres rutas arquitectónicas posibles, permitiendo flexibilidad según los recursos disponibles.

Cuadro 1: Desglose de Materiales y Equipos

Bloque	Ítem / Ruta	Especificación Técnica
Núcleo Σ FET	Ruta A: SHNO	Nano-osciladores de Spin Hall (5-20 GHz). Umbral $I_{DC} \sim 0,45 - 2,5$ mA.
	Ruta B: VO ₂	Osciladores de transición Mott. Ideal para <i>sub-harmonic injection locking</i> .
	Ruta C: VCO CMOS	Osciladores LC con divisores. Útil para mapeo inicial de lenguas de Arnold.
Inyección (Q)	Generador RF	Rango -60 a 0 dBm. Resolución $\leq 0,5$ dB. Opción de <i>drive 2f</i> preferible.
Medición (Σ)	Analizador / VNA	RBW ≤ 1 kHz. Capacidad de medición de <i>linewidth</i> y pureza espectral.
Control (χ)	Bias / Térmico	Fuente de corriente de bajo ruido (LNA supply). Estabilidad térmica $< 0,1^\circ\text{C}$.

3. Fase 0: Preparación y Caracterización del Núcleo

Objetivo: Establecer la línea base del sistema libre ("Free Running") para contrastar posteriormente los efectos de la coherencia inducida.

En esta etapa, caracterizamos el comportamiento natural del oscilador sin perturbaciones externas. Buscamos identificar la frecuencia natural (f_0) y la potencia de salida (P_{out}) para definir el punto de operación óptimo.

1. Caracterización Free-Running:

- Realice un barrido de corriente (I_{bias}) desde 0 hasta el punto de saturación.
- Identifique la región de máxima inclinación df/dI (sensibilidad) y la región de mayor pureza espectral (menor ancho de línea, Δf).
- **Meta:** Seleccionar un punto de operación (Q -point) donde el dispositivo sea estable pero susceptible a inyección.

2. Auditoría de Ruido de Fase:

- Mida el ruido de fase a 10 kHz y 100 kHz de la portadora (f_0).
- Registre el ancho de línea (Δf_{free}) como referencia de decoherencia inicial (ϕ_{base}).

4. Fase 1: Inyección de Empuje (Q) y Locking

Objetivo: Forzar la transición de fase del sistema hacia un estado de alta coherencia mediante inyección externa (Injection Locking).

Aquí aplicamos el principio TMRCU: $Q > \phi$. Inyectamos una señal externa (f_{inj}) cercana a la frecuencia natural para obligar al sistema a sincronizarse, reduciendo drásticamente su entropía de fase.

Dinámica de las Lenguas de Arnold

Al barrer la frecuencia y potencia de inyección, el sistema pasará de un estado de batido a un estado de enganche (*locking*). Buscamos mapear las "Lenguas de Arnold", las regiones donde la sincronización es robusta.

1. Active el generador RF con potencia baja ($P_{inj} \approx -20$ dBm).
2. Barra la frecuencia f_{inj} alrededor de f_0 (o $2f_0$ para inyección sub-armónica).
3. Observe el espectro: busque el colapso del ancho de banda.
4. **Criterio de Éxito:** Reducción de Δf en al menos un orden de magnitud ($\Delta f_{lock} \ll \Delta f_{free}$) y aumento de la amplitud pico.

5. Fase 2: Gradiente y Rectificación (RE-Q)

Objetivo: Convertir la coherencia temporal en un potencial utilizable (DCA).

Una vez logrado el estado de alta coherencia (Σ_{high}), introducimos una asimetría o gradiente. En la TMRCU, la coherencia rectificada genera trabajo útil. Usaremos diodos de barrera Schottky o un arreglo de espintrónica para rectificar la señal oscilatoria coherente.

1. Acople la salida del Σ FET a la etapa rectificadora (Schottky zero-bias o unión túnel magnética).
2. Monitoree el voltaje DC (V_{out}) resultante en circuito abierto.
3. **Verificación de Causalidad:** Al desactivar la inyección RF ($Q \rightarrow 0$), el voltaje V_{out} debe caer a cero (salvo ruido térmico). Esto confirma que la energía proviene de la coherencia inducida.

6. Fase 4: Auditoría TMRCU y Métricas de Validación

La validación del paradigma no se basa solo en obtener una señal, sino en demostrar que dicha señal obedece a las leyes de la coherencia y no a artefactos clásicos.

6.1. Criterios de Aceptación (Σ -Metrics)

- **Índice de Locking (LI):** Debe ser $\geq 0,9$ dentro de la Lengua de Arnold.
- **Reducción de Ruido:** El ancho de línea debe contraerse significativamente ($\Delta f_{lock}/\Delta f_{free} < 0,1$).
- **Firma DCA:** La corriente rectificada debe ser monótona con respecto a la amplitud de coherencia (A_c).
- **Controles Nulos:** Las pruebas con dispositivos "dummy." fuera de rango deben arrojar resultados negativos consistentes.

7. Checklist de Ejecución y Trazabilidad

Utilice esta lista para garantizar la reproducibilidad y el rigor científico en cada sesión experimental.

ID	Acción / Procedimiento	Estado
Fase 0: Línea Base		
F0.1	Verificación de aislamiento (Jaula Faraday/Ferritas).	<input type="checkbox"/>
F0.2	Caracterización f_0 , Δf , ruido de fase y potencia base. <i>Salida: Archivo CSV ΣMP base.</i>	<input type="checkbox"/>
Fase 1: Locking		
F1.1	Barrido de potencia/frecuencia (PRF) para detectar primer locking.	<input type="checkbox"/>
F1.2	Cierre de lazo PID/SMC para estabilizar Σ alto.	<input type="checkbox"/>
F1.3	Mapeo de Lenguas de Arnold (regiones de captura/detuning).	<input type="checkbox"/>
Fase 2: Gradiente		
F2.1	Configuración de la etapa de rectificación (anillo Σ_{ext}).	<input type="checkbox"/>
F2.2	Tomografía de <i>linewidth</i> vs A_{σ_norm} .	<input type="checkbox"/>
Fase 3: Transducción		
F3.2	Barrido de Amplitud de Coherencia vs V_{out}/I_{out} .	<input type="checkbox"/>
F3.3	Ajuste lineal ($m > 0$, $p < 0,05$) para confirmar correlación.	<input type="checkbox"/>
Controles Nulos (TCDS Mandatory)		
NT.1	Inversión de fase (0/180°) para descartar sesgos.	<input type="checkbox"/>
NT.2	Desacople ($K \rightarrow 0$): Confirmar que DC cae a cero.	<input type="checkbox"/>
NT.3	<i>Blind Swaps</i> : Pruebas con cargas pasivas (dummies).	<input type="checkbox"/>

Nota de Autocrítica y Rigor

Este protocolo asume que la detección de una corriente rectificadora anómala, correlacionada estrictamente con el estado de coherencia y resistente a los controles nulos, constituye una evidencia preliminar del acoplamiento Σ -materia predicho por la TCDS. Cualquier desviación debe ser documentada como un fallo de calibración o una refutación del modelo local.