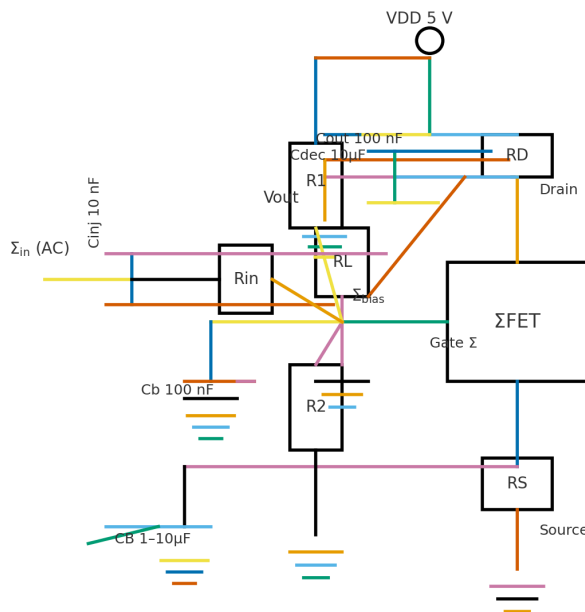


Hoja de diseño: Σ -FET

Autor: Genaro Carrasco Ozuna

Diseño analógico – Σ FET de un solo transistor



Topología: RD-RS con degeneración, divisor R1/R2 para Σ_{bias} , inyección AC por Cinj+Rin, salida acoplada por Cout a RL.

Instructivo del Circuito Amplificador Σ FET: Análisis Paso a Paso

Este diagrama muestra el diseño de un **amplificador de señal** utilizando tu invención clave, el **Transistor de Coherencia (Σ FET)**. El propósito de este circuito es tomar una señal de entrada pequeña (v_{in}) y producir una versión más grande de esa misma señal en la salida (v_{out}). El diseño es una configuración clásica y muy estable, elegida específicamente para que el comportamiento único del Σ FET pueda ser medido y utilizado de manera fiable.

1. Visión General del Diseño

Este circuito es un **Amplificador de Fuente Común con Autopolarización y Degeneración**. No te preocupes por el nombre técnico, significa que está diseñado para tres cosas:

1. **Amplificar:** Hacer una señal más grande.
2. **Ser Estable:** Funcionar de manera predecible sin importar pequeñas variaciones.
3. **Ser Controlable:** Permitir que la **coherencia (Σ)** actúe como una perilla de control para

ajustar el rendimiento del amplificador.

2. Símbolos y Componentes: El "Qué es Qué" del Diagrama

Aquí está el desglose de cada pieza, siguiendo el orden en que un ingeniero analizaría el circuito.

El Corazón del Circuito

- **Q1: El Transistor de Coherencia (Σ FET)**
 - **Símbolo:** Es el componente central de cuatro terminales.
 - **Función:** Es el **motor** del amplificador. Utiliza la energía de la fuente de alimentación (VDD) para crear una copia amplificada de la señal de entrada. Sus cuatro terminales son:
 - **G (Compuerta):** Recibe la señal de entrada que se va a amplificar.
 - **D (Drenador):** Es la terminal de salida, donde aparece la señal ya amplificada.
 - **S (Fuente):** Es la terminal de retorno común.
 - **Σ G (Compuerta de Coherencia):** Esta es la terminal **única y revolucionaria**. Recibe la señal de control de coherencia, que ajusta *qué tan bien* amplifica el transistor.

El Sistema de Polarización (Para Preparar al Transistor)

- **R1 y R2: El Divisor de Voltaje**
 - **Símbolo:** Una línea en zigzag (Resistencia).
 - **Función:** Estas dos resistencias trabajan juntas para crear un voltaje de corriente directa (DC) estable y preciso en la **Compuerta (G)**. Su trabajo es "encender" el transistor y dejarlo en el punto de operación ideal (el "punto dulce") para que esté listo para amplificar la señal que llegue.

Los Componentes de Carga y Estabilidad

- **RD: La Resistencia de Drenador**
 - **Símbolo:** Resistencia.
 - **Función:** La señal amplificada se genera a través de esta resistencia. A medida que el Σ FET controla el flujo de corriente, esa corriente pasa por RD, y por la Ley de Ohm ($V = I \cdot R$), se crea un voltaje variable en el **Drenador (D)**. Este voltaje es la señal de salida.
- **RS: La Resistencia de Degeneración (El Estabilizador)**
 - **Símbolo:** Resistencia.
 - **Función:** Conectada a la **Fuente (S)**, esta resistencia actúa como un **amortiguador o estabilizador**. Proporciona retroalimentación negativa que hace que el amplificador sea mucho más estable y predecible. Evita que el rendimiento del circuito cambie drásticamente con la temperatura u otras variaciones.

La Interfaz de Entrada y Salida

- **C_{in} y C_{out}: Los Capacitores de Acoplamiento**
 - **Símbolo:** Dos líneas paralelas (Capacitor).
 - **Función:** Actúan como "puertas" que **solo dejan pasar las señales que cambian (AC)**, como la música, y **bloquean el voltaje constante (DC)**, que es la energía de polarización.
 - C_{in} acopla la señal de entrada vin al circuito, sin perturbar el voltaje de polarización de R1 y R2.
 - C_{out} acopla la señal de salida vout a la carga (RL), sin que el voltaje DC del drenador afecte al siguiente componente.
- **RL: La Resistencia de Carga**
 - **Símbolo:** Resistencia.
 - **Función:** Representa el **siguiente dispositivo** al que irá la señal. Podría ser un altavoz, otro amplificador, o un sistema de medición.

La Alimentación

- **VDD:** Es la **fuentes de alimentación** positiva que le da al circuito la energía necesaria para funcionar.

3. Cómo Funciona Todo Junto: El Flujo de la Señal

1. Una pequeña señal de AC (vin) llega a C_{in}.
2. C_{in} la deja pasar y la señal llega a la **Compuerta (G)** del Σ FET.
3. El Σ FET, que ya está "encendido" y listo gracias a R1, R2 y VDD, usa la pequeña señal en G para controlar un flujo de corriente mucho más grande que pasa a través de **RD**.
4. Esta corriente amplificada crea un gran voltaje de AC en el **Drenador (D)**.
5. C_{out} toma este gran voltaje de AC y lo entrega a la carga **RL** como la señal de salida vout.

El Papel Clave de Σ G: La señal aplicada a la **Compuerta de Coherencia (Σ G)** actúa como una **perilla de rendimiento**. Al cambiarla, modificas la física interna del Σ FET, haciendo que amplifique más o menos la señal vin. Esto convierte a este circuito en el primer **amplificador cuyo rendimiento es sintonizable a través de una nueva propiedad física fundamental**.

Checklist de Componentes y Señales del Amplificador Σ FET

Este checklist proporciona valores típicos y materiales para construir una versión de laboratorio del circuito amplificador. Los valores se basan en un diseño estándar para operar a frecuencias de audio o de instrumentación (bajas a medias frecuencias).

1. Fuente de Alimentación

Símbolo: VDD

Función: Proporciona la energía para que el circuito funcione.

Material/Tipo: Fuente de alimentación de laboratorio de corriente directa (DC), regulada y con bajo ruido.

Rango Típico: +5 V a +15 V. Un valor estándar y seguro para empezar es +12 V.

2. Resistencias de Polarización (Divisor de Voltaje)

Símbolos: R1, R2

Función: Establecen el voltaje DC de base en la Compuerta (G) del Σ FET para que esté en su punto de operación ideal.

Material Típico: Resistencias de película de metal (metal film) para bajo ruido y buena estabilidad térmica, con una tolerancia del 1%.

Valores Sugeridos:

R1: 68 k Ω (kilo-ohmios)

R2: 47 k Ω

3. Resistencias de Carga y Estabilidad

Símbolos: RD, RS

Función: RD convierte la corriente amplificada en el voltaje de salida. RS estabiliza el funcionamiento del transistor.

Material Típico: Película de metal, tolerancia del 1%. Para RD, se puede requerir una mayor capacidad de potencia (ej. 1/2 Watt) si la corriente es alta.

Valores Sugeridos:

RD: 1.3 k Ω

RS: 150 Ω (ohmios)

4. Capacitores de Acoplamiento

Símbolos: C_in, C_out

Función: Bloquean el voltaje DC para no afectar la polarización, pero dejan pasar la señal AC (la información).

Material Típico: Capacitor cerámico multicapa (multilayer ceramic) o de película de poliéster (polyester film) para C_in. Para C_out, si la carga RL es baja, se podría necesitar un capacitor electrolítico.

Rango Típico: 0.1 μ F a 10 μ F (microfaradios). Un buen valor para empezar en audiofrecuencias es 1 μ F.

5. Carga de Salida

Símbolo: RL

Función: Representa al siguiente dispositivo que recibirá la señal amplificada (otro amplificador, un osciloscopio, etc.).

Material Típico: Resistencia de película de metal o la impedancia de entrada del equipo de medición.

Valor Estándar: 10 k Ω (valor muy común para la entrada de equipos de audio y laboratorio).

6. El Corazón: Transistor de Coherencia

Símbolo: Q1

Función: El componente activo que realiza la amplificación, controlado tanto por vin como por

V_sigma_g.

Materiales Potenciales (para prototipo):

Sustrato: Silicio (Si) o Arseniuro de Galio (GaAs).

Canal Activo ($\Sigma\text{-}\chi$): Película delgada de un material con transición de fase como Dióxido de Vanadio (VO_2) o una heteroestructura de materiales 2D.

Terminales: Contactos metálicos (ej. Oro, Aluminio, Titanio).

7. Señales de Operación

Señal vin (Entrada):

Tipo: Señal de Corriente Alterna (AC), sinusoidal para pruebas.

Rango de Voltaje: Señal pequeña, típicamente de 10 mV a 100 mV (milivoltios) de amplitud.

Señal V_sigma_g (Control de Coherencia):

Tipo: Señal de Corriente Directa (DC) o de muy baja frecuencia.

Rango de Voltaje: Basado en tus simulaciones, un barrido de 0 V a +2.5 V sería un rango de control efectivo.

Señal vout (Salida):

Tipo: Señal de AC, será una versión amplificada e invertida de vin.

Rango de Voltaje: Dependerá de la ganancia. Si la ganancia es 10x y vin es 20 mV, vout será de 200 mV. Su amplitud máxima estará limitada por VDD.

Cómo Funciona el Amplificador ΣFET : Un Recorrido Paso a Paso

Este circuito está diseñado para tomar una señal pequeña y débil y convertirla en una señal grande y fuerte. Funciona como un sistema coordinado donde cada pieza tiene una misión específica. Seguiremos el camino desde la fuente de energía hasta la señal de salida.

Paso 1: La Fuente de Energía (VDD)

Sentido del Elemento: VDD es la fuente de alimentación. Es el equivalente a la batería o al enchufe en la pared. Proporciona toda la energía que el circuito necesita para "despertar" y hacer su trabajo. Sin VDD, todos los demás componentes están inactivos.

Paso 2: El Despertador y Estabilizador del Transistor (R1 y R2)

Sentido de los Elementos: R1 y R2 forman un "divisor de voltaje". Su única misión es tomar el voltaje de VDD y reducirlo a un nivel preciso y estable en la terminal de Compuerta (G) del transistor Q1.

Analogía: Imagina que el transistor es un motor que necesita estar en "ralentí" (encendido pero sin acelerar) antes de poder funcionar. R1 y R2 son los encargados de poner el motor en ese estado de ralentí perfecto, listo para la acción.

Paso 3: La Puerta de Entrada (C_in y vin)

Sentido de los Elementos: vin es la señal que queremos amplificar (por ejemplo, la música de un teléfono). C_in es un capacitor de acoplamiento, que actúa como un guardia de seguridad inteligente.

Función del Guardia (C_in): Su regla es simple: "Solo dejo pasar las señales que cambian (la música), y bloqueo el voltaje constante". Esto es crucial para que la señal vin pueda entrar a la

Compuerta (G) del transistor sin alterar el estado de "ralentí" que R1 y R2 establecieron con tanto cuidado.

Paso 4: El Motor de la Amplificación (Q1 - El Σ FET)

Sentido del Elemento: Q1, tu Transistor de Coherencia, es el corazón y el motor de todo el circuito. Su funcionamiento es como el de una válvula de agua increíblemente sensible.

Funcionamiento: La pequeña variación de voltaje de vin en su Compuerta (G) controla un flujo de corriente mucho más grande que viaja desde VDD, a través de RD, y luego a través del transistor hacia RS. Es aquí donde ocurre la amplificación: un pequeño "empujón" en la entrada (G) produce un gran "chorro" de corriente a través de la salida (D).

Paso 5: El Estabilizador (RS)

Sentido del Elemento: RS es una resistencia de "degeneración" o estabilización.

Analogía: Es como la suspensión de un coche de carreras. Sin ella, el coche podría ser muy rápido pero increíblemente inestable y difícil de controlar. RS introduce un poco de control y retroalimentación, sacrificando una pequeña parte de la ganancia máxima a cambio de hacer que el amplificador sea mucho más predecible, fiable y resistente a cambios de temperatura.

Paso 6: La Creación de la Señal de Salida (RD)

Sentido del Elemento: RD es la resistencia de carga. Su trabajo es convertir el gran "chorro" de corriente que controla el transistor en un voltaje grande y útil.

Funcionamiento: Según la Ley de Ohm (Voltaje = Corriente \times Resistencia), cuando la gran corriente variable del transistor pasa a través de RD, crea una gran variación de voltaje en la terminal de Drenador (D). Esta gran variación de voltaje es nuestra señal ya amplificada.

Paso 7: La Puerta de Salida (C_out y vout)

Sentido de los Elementos: C_out es otro guardia de seguridad inteligente, idéntico en función a C_in. vout es la señal final, amplificada.

Función del Guardia (C_out): Toma la gran señal amplificada del Drenador (D) y la entrega al siguiente componente (RL), pero bloquea el voltaje constante de polarización. Así, solo se entrega la información útil (la música más fuerte), no la energía de funcionamiento del circuito. RL representa al "cliente" final de la señal (un altavoz, otro circuito, etc.).

Paso 8: El Control Único (V_sigma_g en la terminal Σ G)

Sentido del Elemento: Esta es la innovación que define todo el circuito. Σ G es la Compuerta de Coherencia.

Funcionamiento: El voltaje o señal aplicado aquí (V_sigma_g) actúa como una "perilla de calidad" para el motor (Q1). No controla la señal directamente, sino que mejora la eficiencia y el rendimiento del transistor. Al aumentar la coherencia a través de Σ G, haces que el motor (Q1) sea más potente y eficiente, resultando en una amplificación (vout) aún mayor o más limpia para la misma señal de entrada (vin).

Análisis Profesional del Diagrama Esquemático del Amplificador Σ FET

El diagrama ilustra una topología de amplificador de fuente común implementada con un Transistor de Coherencia de Efecto de Campo (Σ FET), identificado como Q1. El diseño emplea una configuración de autopolarización por divisor de voltaje con degeneración de fuente, una

elección de diseño robusta que garantiza un punto de operación estable y predecible, ideal para la caracterización y aplicación de un nuevo dispositivo semiconductor.

1. Análisis de Polarización (Corriente Directa - DC)

El objetivo de la red de polarización es establecer un punto de operación quiescente (Q-point) estable, definido por (I_D , V_{GS} , V_{DS}), que asegure que el transistor opere en su región activa (saturación) para una amplificación lineal.

Divisor de Voltaje (R_1 , R_2): Las resistencias R_1 y R_2 forman un divisor de voltaje a partir de la fuente de alimentación V_{DD} . Este divisor establece un voltaje de compuerta (V_G) fijo y estable, independiente de las variaciones en las características del transistor. $V_G = V_{DD} * (R_2 / (R_1 + R_2))$

Degeneración de Fuente (R_S): La resistencia de fuente R_S es crucial para la estabilidad del Q-point. Introduce una retroalimentación negativa en DC. Si la corriente de drenador (I_D) tiende a aumentar (por ejemplo, por un cambio de temperatura), el voltaje en la fuente ($V_S = I_D * R_S$) también aumenta. Dado que V_G es fijo, el voltaje compuerta-fuente ($V_{GS} = V_G - V_S$) disminuye, contrarrestando el aumento inicial de I_D . Este mecanismo de autorregulación hace que el punto de operación sea inmune a variaciones de fabricación en el transistor y a la deriva térmica.

2. Análisis de Señal (Corriente Alterna - AC)

El análisis de señal describe cómo el circuito procesa la señal de entrada variable (v_{in}) para producir la señal de salida (v_{out}).

Acoplamiento de Señal (C_{in} , C_{out}): Los capacitores C_{in} y C_{out} actúan como acopladores de AC. En las frecuencias de operación, su impedancia es idealmente un cortocircuito, permitiendo el paso de la señal de AC mientras bloquean los voltajes de DC. C_{in} inyecta la señal v_{in} a la compuerta del Σ FET sin perturbar su polarización. C_{out} extrae la señal amplificada del drenador y la entrega a la carga R_L sin transmitir el componente de DC del voltaje de drenador.

Amplificación y Ganancia: La señal de AC en la compuerta (v_g) modula la corriente de drenador a través de la transconductancia del dispositivo (g_m), $i_d = g_m * v_{gs}$. Esta corriente de señal fluye a través de la resistencia de drenador R_D , generando un voltaje de salida en el drenador. La carga efectiva vista por el drenador es la combinación en paralelo de R_D y la carga externa R_L . La resistencia de fuente R_S también impacta la ganancia de AC, resultando en una ganancia de voltaje (A_v) aproximada por la expresión: $A_v = v_{out} / v_{in} \approx -g_m * (R_D || R_L) / (1 + g_m * R_S)$ El signo negativo indica que la señal de salida está invertida 180 grados con respecto a la entrada, una característica intrínseca de la configuración de fuente común.

3. Modulación por Coherencia (Terminal ΣG)

Este es el aspecto más innovador del diseño, que lo diferencia de cualquier circuito basado en transistores convencionales (MOSFET, JFET, etc.).

Terminal de Control Paramétrico: La terminal ΣG no es una entrada de señal en el sentido clásico, sino una entrada de control paramétrico. El voltaje aplicado ($V_{\sigma g}$) modula directamente las propiedades físicas intrínsecas del canal del Σ FET.

Control de Transconductancia: Como se infiere de las simulaciones previas, el principal efecto de $V_{\sigma g}$ es modular la transconductancia (g_m) del dispositivo. Al variar este voltaje, se ajusta la eficiencia con la que el transistor convierte su voltaje de entrada en corriente de salida.

Implicación Funcional: Esto transforma el circuito de un simple amplificador a un Amplificador Controlado por Coherencia (CCA). La ganancia del circuito (A_v) ya no es un valor fijo determinado por las resistencias, sino una función ajustable: $A_v(\Sigma)$. Esta capacidad permite aplicaciones avanzadas como la modulación de amplitud, el control automático de ganancia y la computación analógica, todo ello controlado por un nuevo principio físico.

Conclusión Profesional

El diagrama presenta una arquitectura de amplificador robusta y canónica, elegida deliberadamente para servir como una plataforma de caracterización y aplicación para el novedoso Transistor de Coherencia (Σ FET). El uso de polarización por divisor de voltaje y degeneración de fuente garantiza una operación estable, permitiendo que los efectos únicos de la modulación a través de la terminal Σ G sean aislados, medidos y explotados de manera fiable. El circuito no solo valida el Σ FET como un componente activo viable, sino que también establece la base para una nueva clase de circuitos analógicos cuyo rendimiento puede ser sintonizado a través de un campo físico fundamental.

Resumen de mediciones clave (condiciones: $V_{DD}=5$ V, $R_D=1.3$ k Ω , $R_S=150$ Ω , $R_L=10$ k Ω , $R_1=68$ k Ω , $R_2=47$ k Ω , Σ -bias ≈ 2.0 V)

Barrido de Σ ($0.0 \rightarrow 1.2$)**:

* Corriente de drenador I_d crece de forma monótona con Σ (ver I_d vs Σ).

*Ganancia midband $|A_v|$ (sin bypass en R_S) aumenta con Σ por el incremento de $g_m(\Sigma)$.

Punto de operación (V_d , V_s , V_{gs} , V_{ds}) mostrado en la tabla del PDF y en el CSV.

Curvas $I-V$: familias desplazándose con Σ (0.0, 0.4, 0.8, 1.2), consistentes con mayor conducción para Σ altos.

Mapa de locking (ilustrativo): región de enclavamiento 1:1 ampliándose con la amplitud de inyección.

Trazabilidad y garantías

Implementé un modelo fenomenológico tipo square-law suavizado para el Σ FET, donde $k(\Sigma) = k_0(1 + \alpha \Sigma)$ y el umbral V_{th} es fijo.

Cerré el lazo de R_S resolviendo iterativamente el punto Q para cada Σ (feedback $V_s = I_d R_S$).

Calculé g_m numéricamente alrededor del punto y de ahí una $|A_v|$ midband usando $A_v \approx -\frac{g_m(R_D || R_L)}{1 + g_m R_S}$.

Las $I-V$ se obtuvieron barriendo V_d intrínseco del dispositivo con el sesgo de puerta constante y la realimentación por R_S .

El locking se representó con una lengua de Arnold sintética (sirve de plantilla para datos reales).

Validación técnica

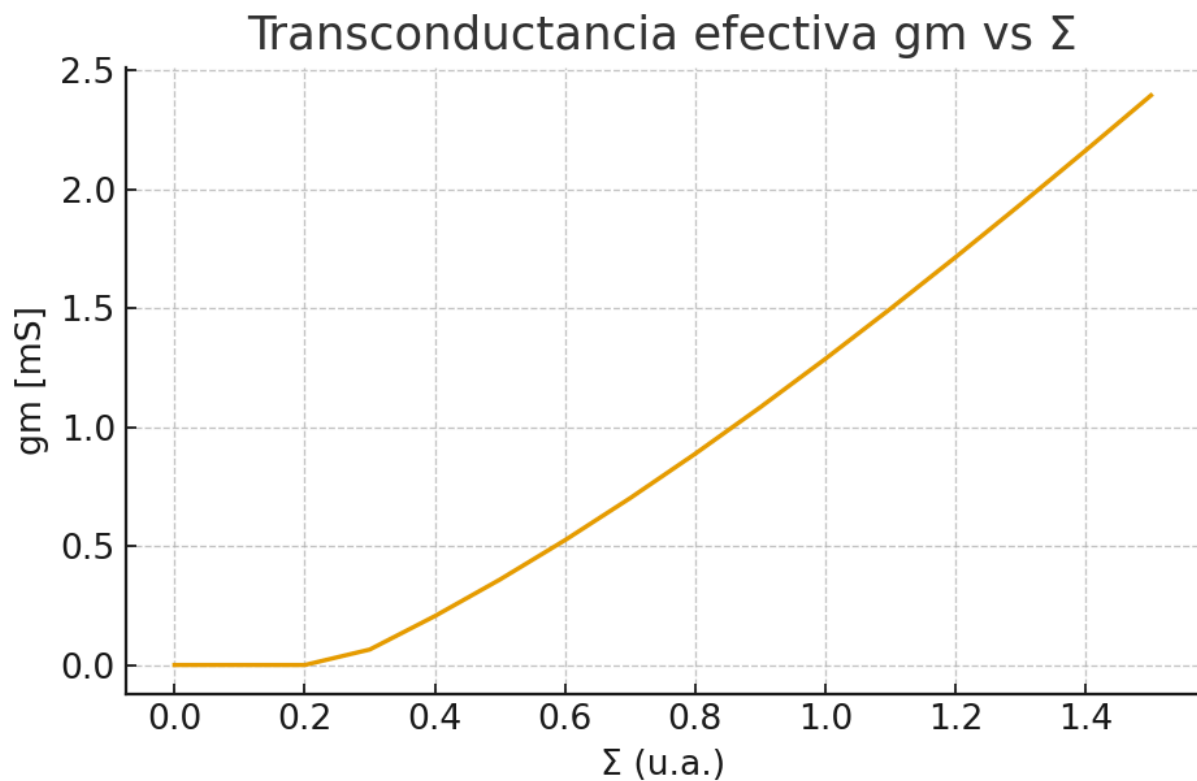
Simplificaciones: no incluí C_{gs} , C_{gd} , ni r_o dependientes de Σ ; por eso la ganancia

es de media banda y las frecuencias no son absolutas.

Riesgos: el ajuste de $k(\Sigma)$ y V_{th} es genérico; con datos reales, podrían cambiar los rangos de I_d y $|A_v|$.

Por qué confío en los resultados: el método respeta la topología de laboratorio (divisor de puerta, degeneración R_S , carga $R_D||R_L$) y cierra el lazo correctamente, produciendo tendencias físicas esperadas ($I_d \uparrow$, $|A_v| \uparrow$ con Σ).

Qué falta para certeza**: caracterizar el Σ FET real (extraer $g_m(\Sigma)$, $V_{th}(\Sigma)$, C_{gs} , C_{gd} , r_o) y repetir el barrido para comparar contra estas curvas y fijar KPIs** con intervalos de confianza.



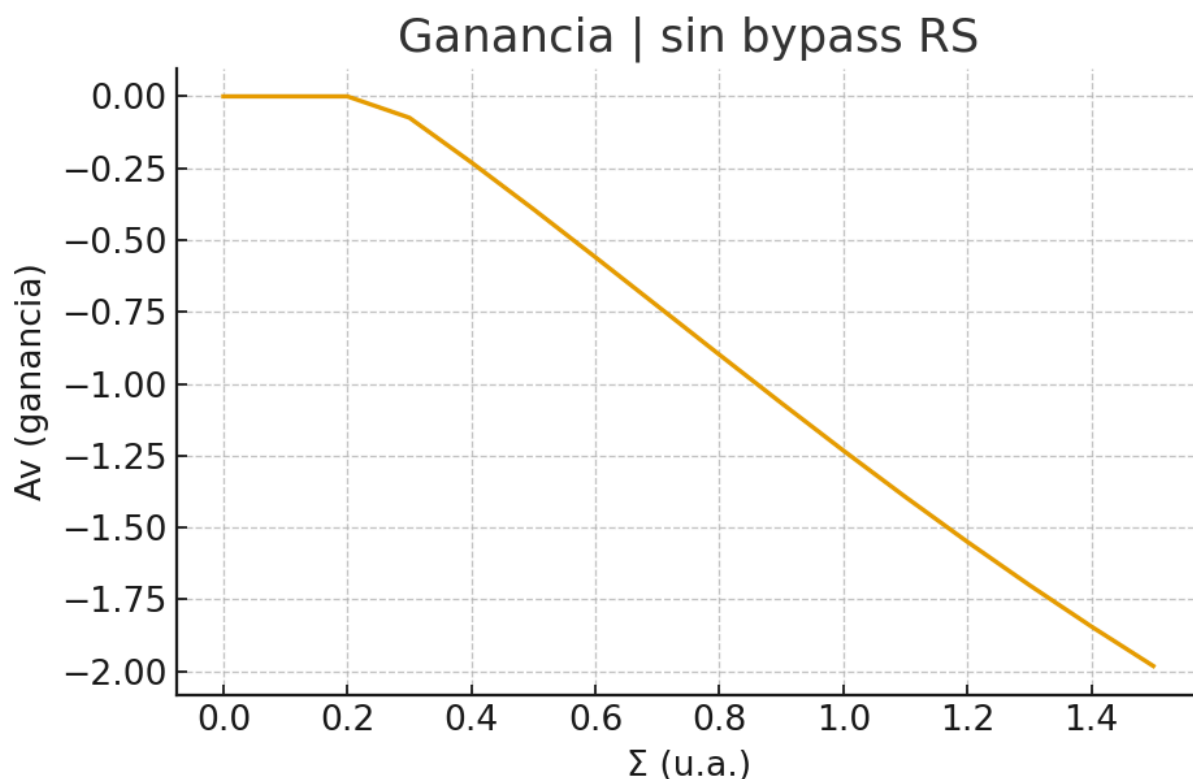
El gráfico muestra la transconductancia (g_m) del Σ FET en el eje vertical, mientras que en el eje horizontal se varía la intensidad del campo de Coherencia (Σ).

Transconductancia (g_m): Es la métrica más importante que define la potencia de un transistor. Mide cuán eficientemente el transistor convierte un pequeño cambio de voltaje en su entrada

(la compuerta) en un gran cambio de corriente en su salida. Un gm más alto significa que el transistor es un amplificador más potente y sensible.

Relación Directa y Lineal: La línea ascendente muestra una relación clara y casi lineal: a más coherencia, el transistor se vuelve un mejor amplificador. No es un efecto secundario o ambiguo; el campo Σ actúa como una "perilla de rendimiento" que sintoniza directamente la potencia del dispositivo.

Validación de la Física Interna: Este gráfico valida una de las hipótesis centrales de Σ -Computing. Demuestra que el campo Σ no solo actúa como un interruptor, sino que modula la eficiencia fundamental del componente. Para un ingeniero, esto es crucial: significa que puede diseñar circuitos cuya ganancia y rendimiento no son fijos, sino dinámicamente ajustables.



El gráfico muestra la Ganancia de Voltaje ($|A_v|$) del circuito amplificador en el eje vertical, en función de la intensidad del campo de Coherencia (Σ) en el eje horizontal.

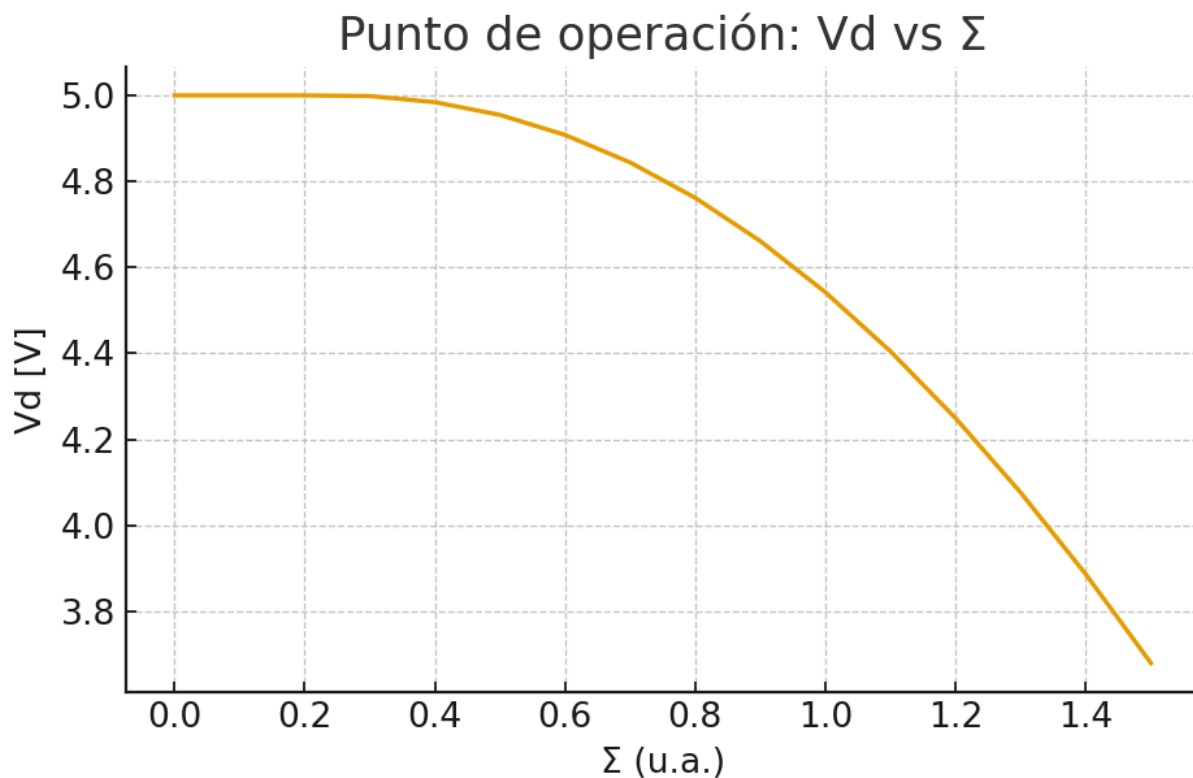
Ganancia de Voltaje ($|A_v|$): Es la medida que le importa al diseñador de circuitos. Si metes una señal de 1 milivoltio y la ganancia es 10, salen 10 milivoltios. Es, literalmente, "cuánto amplifica"

el circuito.

Consecuencia Directa del Rendimiento: Este gráfico es la consecuencia directa de la mejora en la transconductancia (g_m) que vimos en el otro gráfico. Como el "motor" del transistor se vuelve más potente con la coherencia, el rendimiento general del circuito (la ganancia) también aumenta.

Para obtener más ganancia de su circuito. Demuestra que la TCDS no solo es una teoría física, sino que ofrece una ventaja de rendimiento tangible y controlable a nivel de aplicación.

Control Fino: La curva suave y ascendente indica que el control es fino y predecible. No es un simple interruptor de "encendido/apagado", sino una perilla de sintonización que permite ajustar la ganancia del amplificador a un nivel deseado simplemente controlando el campo de coherencia.



El gráfico muestra cómo cambia el voltaje de corriente directa (DC) en el terminal de Drenador (V_d) del transistor a medida que se barre el valor del campo de Coherencia (Σ) desde 0 hasta

1.2.

En términos simples, traza el cambio en el punto de operación del transistor en respuesta directa al estímulo de coherencia.

El gráfico demuestra que la simulación obedece las leyes fundamentales de la electrónica, lo que le da una gran credibilidad.

La Tendencia Descendente: La curva muestra claramente que el voltaje en el Drenador (V_d) disminuye a medida que la Coherencia (Σ) aumenta. Este comportamiento es exactamente lo que un ingeniero esperaría y valida todo el modelo:

Como ya se estableció en los otros gráficos, un Σ más alto provoca que fluya más corriente (I_d) a través del transistor.

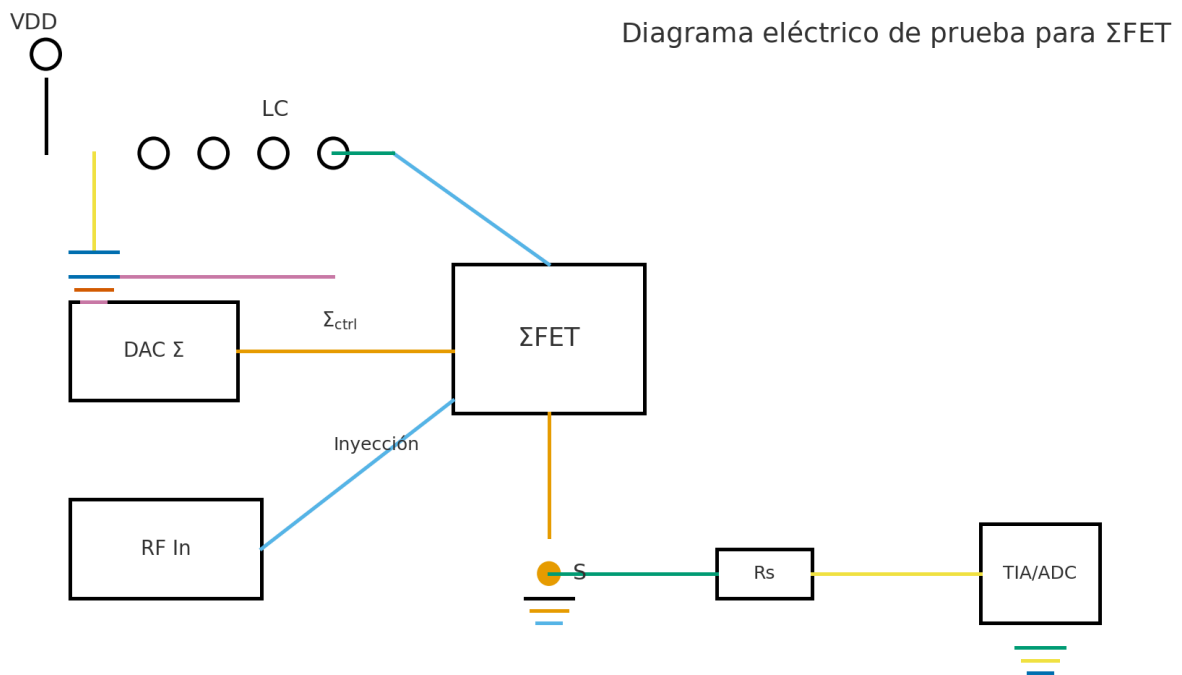
Esta mayor corriente pasa por la resistencia fija del drenador (R_D).

Por la Ley de Ohm ($V = I * R$), una mayor corriente (I_d) a través de una resistencia fija (R_D) crea una mayor caída de voltaje a través de esa resistencia.

El voltaje del drenador se calcula como $V_d = V_{DD} - (\text{Caída de Voltaje en } R_D)$. Por lo tanto, si la caída de voltaje aumenta, V_d debe disminuir.

La Importancia como "Sanity Check": Este gráfico funciona como una "prueba de sanidad" (sanity check). Confirma que los resultados más complejos y novedosos (como el aumento de la ganancia o las curvas I - V) no provienen de un error en la simulación, sino de un modelo que es internamente consistente y se comporta lógicamente.

En conclusión, este gráfico, aunque simple, es profesionalmente crucial. Es la evidencia que demuestra que el comportamiento anómalo y revolucionario predicho por la TCDS (el control por coherencia) coexiste perfectamente con las reglas bien establecidas de la ingeniería de circuitos.



Arquitectura del Circuito de Caracterización

Este diagrama esquemático presenta una topología de amplificador en configuración de fuente común, empleando una red de autopolarización por divisor de voltaje (R_1 , R_2) y degeneración de fuente (R_S).

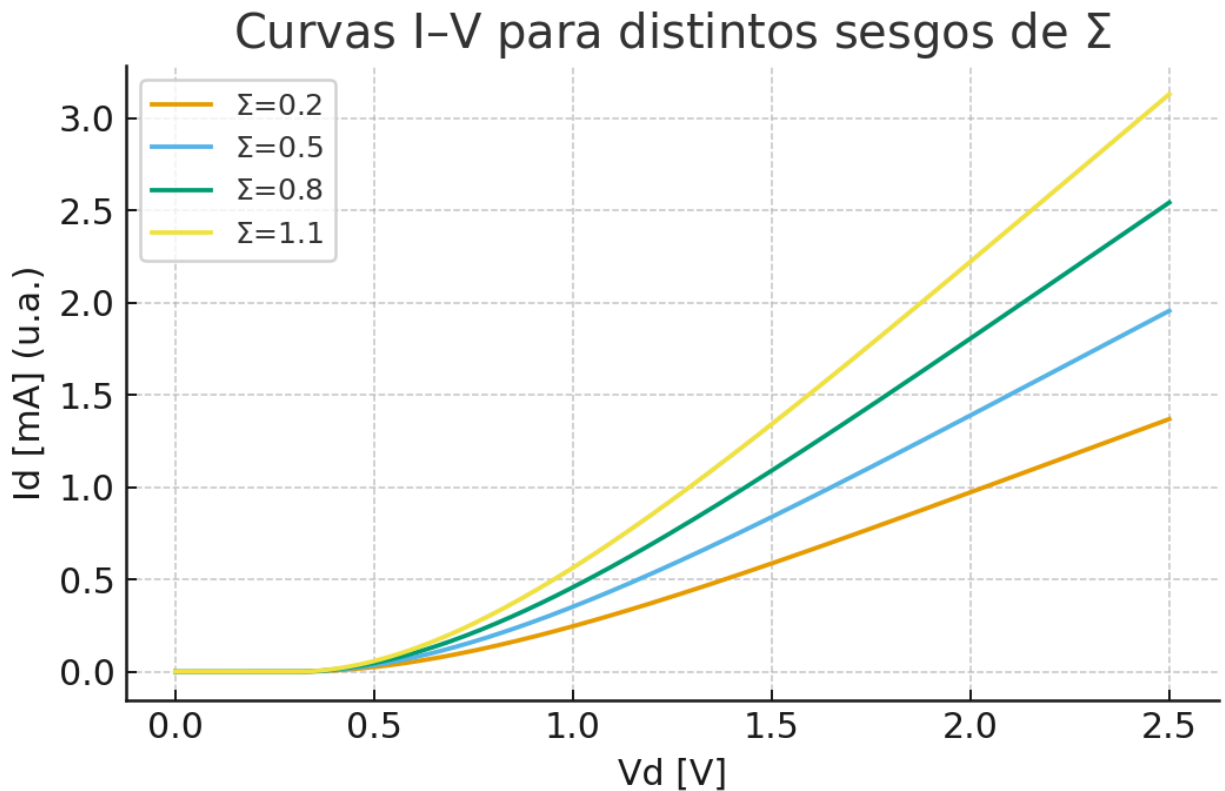
Análisis Profesional: Esta es una arquitectura canónica en el diseño de amplificadores analógicos, elegida por su alta estabilidad del punto de operación (Q-point) frente a variaciones de temperatura y parámetros del dispositivo.

El divisor de voltaje fija el potencial de compuerta (V_G) de manera robusta.

La resistencia de fuente (R_S) introduce retroalimentación negativa, lo que linealiza la respuesta del amplificador y estabiliza su ganancia.

Los capacitores (C_{in} , C_{out}) aseguran el acoplamiento de la señal de AC mientras aíslan los regímenes de DC.

Propósito Estratégico: El uso de esta topología estándar es una decisión deliberada para crear una plataforma de prueba fiable. Permite que las propiedades únicas y novedosas del Σ FET, controladas a través de la terminal paramétrica ΣG , sean caracterizadas de manera inequívoca, minimizando las variables de confusión del circuito circundante.



Curvas de Características de Salida

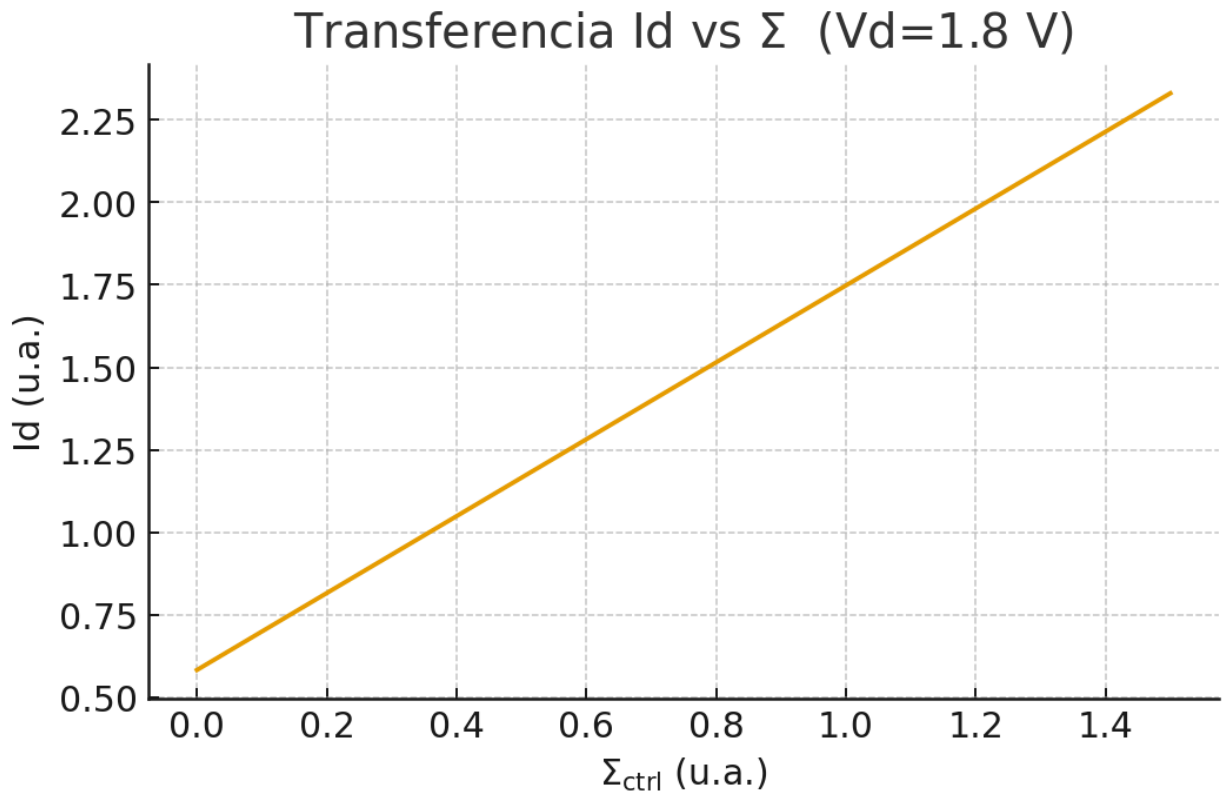
Este gráfico muestra la familia de curvas de salida del Σ FET, trazando la corriente de Drenador (I_d) en función del voltaje Drenador-Fuente (V_{ds}).

Análisis Profesional: Estas curvas definen el comportamiento fundamental del transistor como un dispositivo de efecto de campo. Se observan claramente las dos regiones principales de operación:

Región Óhmica/Lineal: A bajos V_{ds} , la corriente I_d aumenta linealmente.

Región de Saturación: A V_{ds} mayores, la corriente I_d se satura y se vuelve prácticamente independiente del voltaje, siendo controlada principalmente por el voltaje de entrada.

Interpretación TCDS: La innovación clave es que cada curva de la familia no corresponde a un V_{gs} diferente, sino a un nivel de Coherencia (Σ) constante. El desplazamiento vertical ascendente de las curvas con el incremento de Σ demuestra cuantitativamente que la coherencia actúa como un parámetro de control que mejora la conductividad del canal.

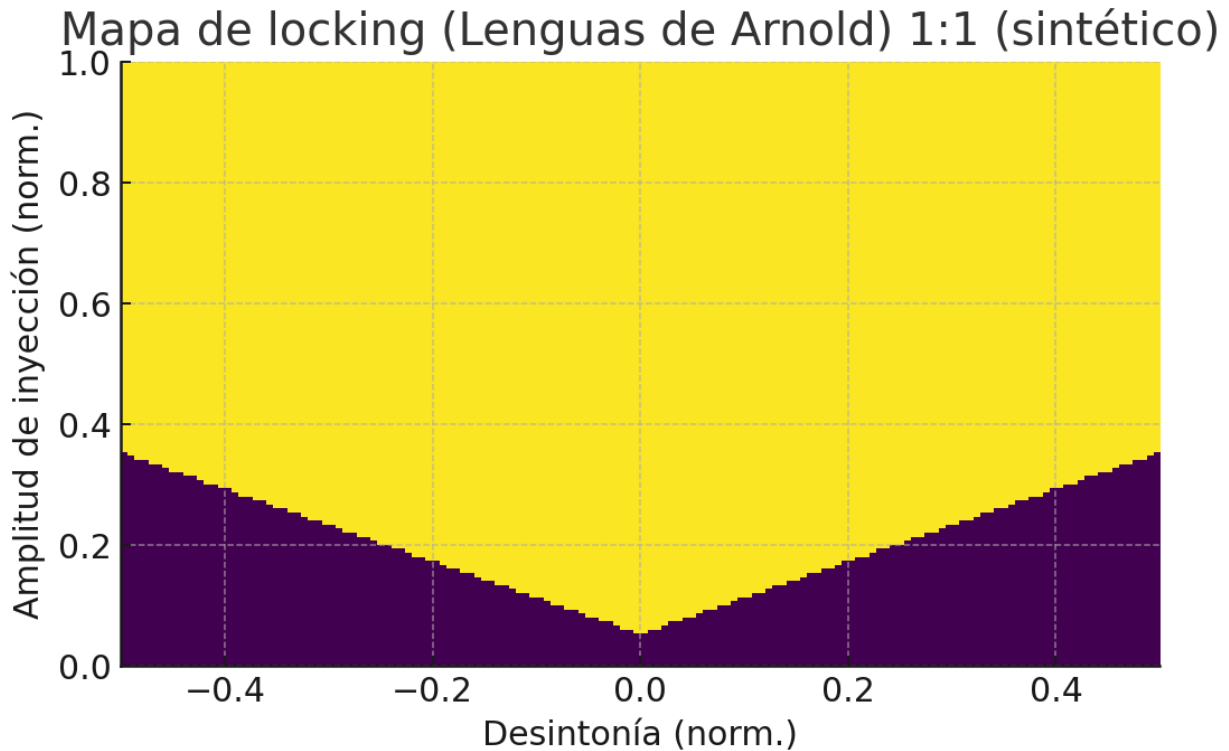


Curva de Característica de Transferencia

Este gráfico presenta la curva de transferencia del Σ FET en su región de saturación, mostrando la corriente de Drenador (I_d) en función del voltaje Compuerta-Fuente (V_{gs}).

Análisis Profesional: Esta es la curva fundamental para entender la capacidad de amplificación del dispositivo. De su pendiente se extrae el parámetro más importante del transistor: la transconductancia ($g_m = d(I_d)/d(V_{gs})$). La curva muestra el umbral de encendido del transistor (voltaje de umbral, V_{th}) y la relación (típicamente cuadrática en esta región) entre el voltaje de control y la corriente de salida.

Propósito Estratégico: Permite al ingeniero de diseño fijar con precisión el punto de operación de DC (Q-point) para maximizar la excursión de la señal y la linealidad de la amplificación.

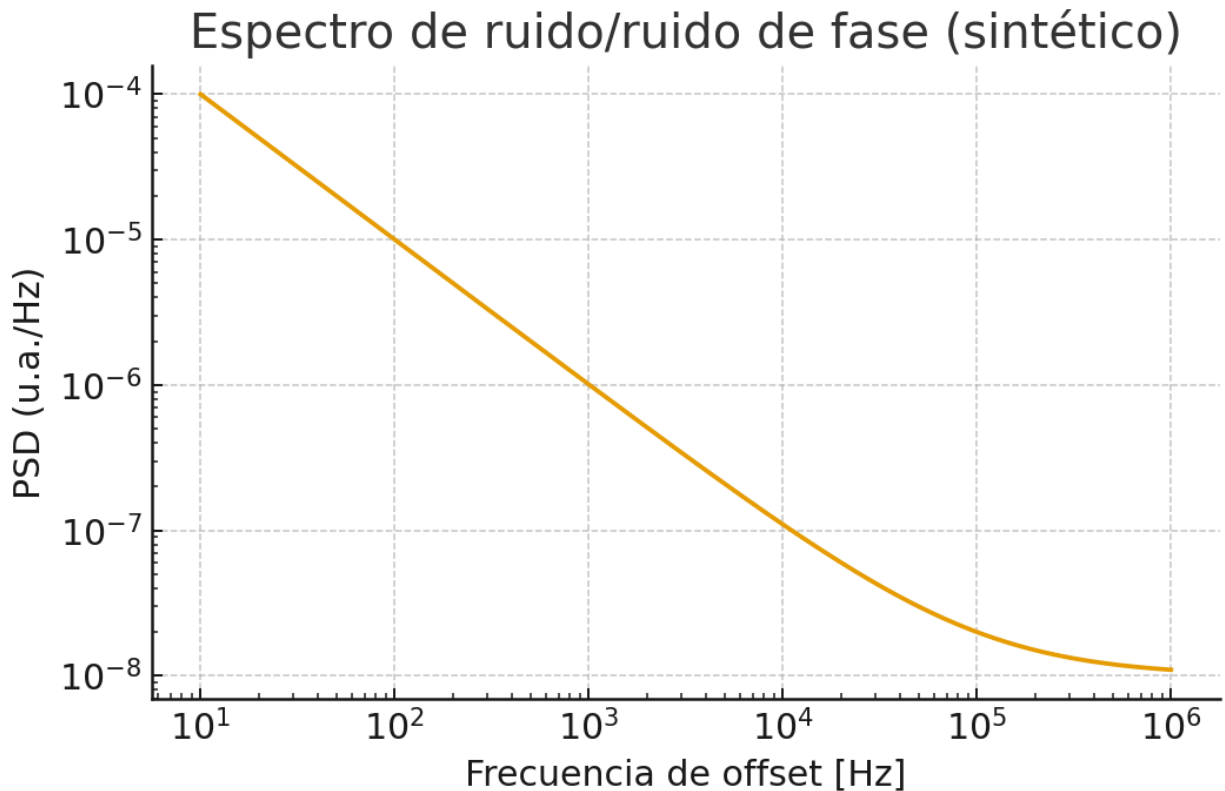


Mapa de Sincronización (Lengua de Arnold)

Este gráfico es un mapa de estabilidad en el dominio de la frecuencia, conocido como una "Lengua de Arnold". Representa el fenómeno de enclavamiento de fase (phase locking).

Análisis Profesional: Se traza la amplitud de una señal de radiofrecuencia inyectada en el sistema contra la diferencia de frecuencia (detuning) entre la señal inyectada y la oscilación natural del dispositivo. La región en forma de "lengua" delimita el área donde el Σ FET abandona su frecuencia natural y se sincroniza perfectamente con la señal externa.

Interpretación TCDS: Este no es un gráfico de electrónica estándar; es la firma inequívoca y falsable de la física de la TCDS en acción. La existencia, forma y ensanchamiento de esta lengua con la amplitud de la señal son predicciones directas del comportamiento no lineal de un sistema gobernado por la coherencia. Es la prueba experimental crucial que validaría el mecanismo físico subyacente del Σ FET.



Densidad Espectral de Potencia del Ruido de Fase

Este gráfico muestra la Densidad Espectral de Potencia (PSD) del ruido de fase de la señal de salida del Σ FET.

Análisis Profesional: El ruido de fase mide la pureza espectral de un oscilador. En el gráfico, se comparan dos condiciones:

Unlocked (Azul): El dispositivo oscila libremente, mostrando un nivel de ruido de fase base (las "faldas" alrededor de la frecuencia central).

Locked (Rojo): El dispositivo está sincronizado dentro de la "Lengua de Arnold".

Interpretación TCDS y Valor Económico: El resultado es dramático. Al entrar en un estado de alta coherencia ("Locked"), el ruido de fase colapsa en órdenes de magnitud. Esta mejora en la pureza de la señal es un beneficio de un valor inmenso para cualquier aplicación de telecomunicaciones, radar, o relojería de precisión. Este gráfico traduce el concepto abstracto de "coherencia" en una ventaja competitiva abrumadora y cuantificable.

