

# SYNCTRON / $\Sigma$ FET – Propuesta TMRCU (Fuente LaTeX)

```
% !TEX program = pdflatex
\documentclass[11pt,a4paper]{article}

\usepackage[utf8]{inputenc}
\usepackage[T1]{fontenc}
\usepackage[spanish,es-nodecimaldot]{babel}
\usepackage{lmodern}
\usepackage{geometry}\geometry{margin=2.2cm}
\usepackage{setspace}\onehalfspacing
\usepackage{amsmath,amssymb,mathtools,bm}
\usepackage{siunitx}
\usepackage{microtype}
\usepackage{hyperref}
\usepackage{xcolor}
\usepackage{enumitem}
\setlist[itemize]{topsep=2pt,itemsep=2pt}
\setlist[enumerate]{topsep=2pt,itemsep=2pt}

\title{\textbf{SYNCTRON /  $\Sigma$ FET}: Transistor de Coherencia\\
\large Propuesta morfológica cuántica para computación de coherencia TMRCU}
\author{Proyecto TMRCU / MSL}
\date{\today}

\newcommand{\Sig}{\Sigma}
\newcommand{\Chi}{\chi}
\newcommand{\dd}{\mathrm{d}}
\newcommand{\E}{\mathbb{E}}
\newcommand{\l}{\mathbf{l}}
\newcommand{\R}{\mathbb{R}}
\newcommand{\ang}{\theta}

\begin{document}
\maketitle

\begin{abstract}
Se propone un dispositivo físico elemental ---el \textbf{SYNCTRON} o  $\Sigma$ FET--- que reemplaza al transistor binario de silicio en la \emph{Computación de Coherencia} ( $\Sigma$ -Computing) de la TMRCU. El estado lógico ya no es  $\{0,1\}$ , sino un \textbf{estado de coherencia}  $(\l \in [0,1])$ , medido por un \emph{parámetro de orden} de fase. El dispositivo opera en el borde de una \textbf{bifurcación de Hopf} (oscilador de Stuart--Landau) y su \emph{compuerta} controla el coeficiente de ganancia efectiva  $(\mu)$  y el acople  $(K)$  hacia entradas coherentes, permitiendo realizar compuertas  $(\l)$ -lógicas (acople, sincronización, desincronización, inversión) y memoria con biestabilidad. Se definen morfologías físicas (fotónica integrada, magnónica/spintrónica y superconductora) y un plan de verificación falsable.
\end{abstract}

\section{Principio TMRCU  $\rightarrow$  dispositivo}
\paragraph{Estado lógico.} En TMRCU, la información habita  $(\l)$ , la \emph{sincronización lógica}. Para  $(N)$  osciladores con fases  $(\ang_k)$ ,
\begin{equation}
R, e^{i\Phi} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^{i\ang_k}, \quad \l := R \in [0,1].
\end{equation}
\paragraph{Evolución local.} Cada nodo obedece un oscilador de Stuart--Landau con acople TMRCU:
\begin{equation}
\dot{z}_i = (\mu_i + i\omega_i)z_i - (1+i\zeta)|z_i|^2 z_i + K \sum_{j \in \mathcal{N}_i} z_j + \xi_i(t),
\end{equation}
donde  $(z_i = A_i e^{i\ang_i})$ . El control de  $(\mu_i)$  por la \emph{compuerta} del dispositivo equivale a mover el sistema a través de la bifurcación (oscilación espontánea vs. reposo). La lectura de  $(\l)$  se hace como  $(R)$  o  $(A)$  normalizado.

\section{El  $\Sigma$ FET (SYNCTRON)}
\subsection{Definición funcional}
```

# SYNCTRON / ΣFET – Propuesta TMRCU (Fuente LaTeX)

```
\begin{itemize}
\item \textbf{Fuente/Entrada} ( $z_{\text{in}}$ ): señal de coherencia a acoplar (óptica, magnónica o microondas).
\item \textbf{Canal} ( $z$ ): oscilador activo con parámetro controlable ( $\mu_0 + \alpha V_g$ ) (bombeo  $(P_g)$ ).
\item \textbf{Compuerta} ( $g$ ): controla  $(\mu)$  y el acople  $(K)$  hacia  $(z_{\text{in}})$  (interferómetro, válvula de spin o acoplador sintonizable).
\item \textbf{Dren/Salida} ( $z_{\text{out}}$ ): señal coherente. Define  $(\text{Sig}_{\text{out}} \text{proto} | \langle e^{i(\alpha - \Phi_{\text{in}})} \rangle |)$ .
\end{itemize}
\subsection{Ecuación efectiva con compuerta}
\begin{equation}
\dot{z} = (\mu_0 + \alpha u_g + i\omega_{\text{c}})z^2 z + K(u_g), z_{\text{in}}.
\end{equation}
\textbf{Modo ON} (coherente):  $(u_g)$  tal que  $(\mu_{\text{eff}} > 0)$  y  $(K)$  alto; \textbf{Modo OFF} (incoherente):  $(\mu_{\text{eff}} \leq 0)$  o  $(K \rightarrow 0)$ .
```

```
\section{Morfologías físicas}
\subsection{Fotónica integrada (SiN/Si/III-V)}
\begin{itemize}
\item \textbf{Canal:} microanillos Kerr o láseres DFB con saturación (no linealidad  $(\chi^{(3)})$ ).
\item \textbf{Compuerta:} sintonización electro-óptica/termo-óptica de  $(\mu)$  (bombeo/gain) y del acople con MZI ( $K$ ).
\item \textbf{Lectura:} homodina/fotodetección para  $(A)$  y  $(\alpha)$ ;  $(R)$  por correlación de fase.
\item \textbf{Ventajas:} integrable a gran escala, latencias sub- $\text{ns}$ – $\text{us}$ .
\end{itemize}
\subsection{Magnónica / Spintrónica (STNO, SHNO)}
\begin{itemize}
\item \textbf{Canal:} osciladores de  $\text{spin torque}$  con auto-oscilación cerca del umbral ( $\mu_{\text{sim}}$ ).
\item \textbf{Compuerta:} corriente de compuerta que ajusta  $(\mu)$  y acople por guías de onda magnónicas/tunables.
\item \textbf{Lectura:} magnetoresistencia y fase de precesión.
\item \textbf{Ventajas:} frecuencia  $\text{GHz}$ , compatibilidad CMOS, footprint nanométrico.
\end{itemize}
\subsection{Superconductora (JJ, paramétricos)}
\begin{itemize}
\item \textbf{Canal:} osciladores paramétricos Josephson; no linealidad intrínseca para  $(|z|^2 z)$ .
\item \textbf{Compuerta:} bombeo microondas sintoniza  $(\mu)$  y acopla con lazos SQUID (tunable  $(K)$ ).
\item \textbf{Lectura:} homodina a  $\text{mK}$ ; ultra-bajo ruido.
\item \textbf{Ventajas:} coherencia extrema; \textbf{Contrainte:} criogenia.
\end{itemize}
\section{Celdas  $(\Sigma)$ -lógicas (biblioteca estándar)}
\subsection{Acople ( $C(\Sigma)A$ ):  $(\text{Sig}_{\text{out}} \approx \text{Sig}_1 \text{Sig}_2)$ }
Realización:  $\text{gating}$  del acople  $(K \text{ proto} \text{Sig}_1)$  hacia un canal cuyo  $(\mu \text{ proto} \text{Sig}_2)$ . Solo cuando ambas altas, el oscilador bloquea y eleva  $(R)$ .
\subsection{Sincronización ( $C(\Sigma)S$ ):  $(\text{Sig}_{\text{out}} \approx \max(\text{Sig}_1, \text{Sig}_2))$ }
Red  $\text{winner-take-all}$  de dos SYNCTRONs acoplados a un tercer nodo de lectura saturable; el mayor  $(\Sigma)$  domina.
\subsection{Desincronización ( $C(\Sigma)D$ ):  $(\text{Sig}_{\text{out}} \approx |\text{Sig}_1 - \text{Sig}_2|)$ }
Interferencia controlada:  $(|z_1 - z_2|)$  en un  $\text{beam splitter}$ /interferómetro (óptico o de onda de spin) con normalización.
\subsection{Inversión ( $C(\Sigma)N$ ):  $(\overline{\text{Sig}} = 1 - \text{Sig})$ }
Rama de referencia  $(\text{Sig} = 1)$  y resta analógica; o bien control del sesgo de lectura para mapear a complemento.
\subsection{Memoria (Latch  $(\Sigma)$ -SR)}
Dos SYNCTRONs con realimentación cruzada producen biestabilidad (histeresis); lectura no destructiva por acople débil.
```

```
\section{Interconexión y sincronía global}
\paragraph{Bus  $(\Sigma)$ .} Guías de onda (ópticas o magnónicas) con  $\text{clock}$  por pulsos de bombeo
```

# SYNCTRON / ΣFET – Propuesta TMRCU (Fuente LaTeX)

que re-fijan  $\langle\langle\Phi\rangle\rangle$  global (re-sincronización).  $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle$ - $\text{routers}$  basados en MZI/SQUID para  $\text{multicast}$  sin colisión de fase.

```
\section{Mapeo TMRCU \(\leftrightarrow\) parámetros de dispositivo}
\begin{equation}
V(\Sigma, \Chi) = -\frac{1}{2} \mu^2 \Sigma^2 + \frac{4}{\lambda} \Sigma^4 + \frac{g^2}{2} \Chi^2, \quad
\mu \leftrightarrow \text{ganancia/bombeo}, \quad \lambda \leftrightarrow \text{no linealidad}, \quad
g \leftrightarrow \text{acople al sustrato}.
\end{equation}
La compuerta ajusta  $\langle\langle\mu\rangle\rangle$  y  $\langle\langle K\rangle\rangle$ ; la lectura estima  $\langle\langle R\rangle\rangle$  (o  $\langle\langle|z|\rangle\rangle$ ) como  $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle$ .
```

**Especificaciones objetivo (targets iniciales)**

```
\begin{itemize}
\item \textbf{Latencia de sincronización}  $\langle\langle\tau_{\text{sync}}\rangle\rangle$ : sub- $\text{ns}$  (fotónica) /  $\text{ns}$  (spintrónica) /  $\text{ms}$  (JJ).
\item \textbf{Escalado:} mallas  $\langle\langle 10 \times 10 \rangle\rangle$  (P1) hasta  $\langle\langle 32 \times 32 \rangle\rangle$  (P2) con  $\text{reclocking}$  por pulsos.
\item \textbf{Lectura  $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle$ :} estimador  $\langle\langle R\rangle\rangle$  con varianza relativa  $\text{~5\%}$  en ventanas de  $\text{ns}$  /  $\text{ms}$ .
\item \textbf{Robustez al desajuste:} bloqueo de fase para  $\langle\langle |\Delta\omega| \rangle\rangle$  (medible por barrido).
\end{itemize}
```

**Banco de pruebas y falsabilidad**

**Experimentos mínimos viables**

```
\begin{enumerate}
\item \textbf{SYNCTRON solo:} curva  $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle(\langle\langle u_g \rangle\rangle)$  y umbral de Hopf; histéresis controlada.
\item \textbf{C( $\Sigma$ )A:} medir  $\langle\langle\Sigma_{\text{out}}\rangle\rangle(\Sigma_1, \Sigma_2)$  y ajuste  $\langle\langle\Sigma_1 \Sigma_2\rangle\rangle$  (RMSE  $\text{~0.1\%}$ ).
\item \textbf{C( $\Sigma$ )S:}  $\langle\langle\Sigma_{\text{out}}\rangle\rangle \approx \max(\Sigma_1, \Sigma_2)$  con error  $\text{~0.1\%}$ .
\item \textbf{Latch:} retención  $\langle\langle SI\{1\} \rangle\rangle$  (fotónica con ganancia) o  $\langle\langle SI\{1\} \rangle\rangle$  (spintrónica) sin  $\text{refresh}$ .
\end{enumerate}
```

**Criterios de refutación**

Fracaso sostenido en alcanzar los ajustes anteriores con potencia estadística  $\geq 0.9$  y  $\alpha=0.01$ ; incapacidad de escalar más allá de malla  $\langle\langle 10 \times 10 \rangle\rangle$  con errores de fase  $\text{~10\%}$ .

**Ruta de integración**

```
\begin{description}
\item[P0] Dispositivo único ( $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle$ FET) y lectura  $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle$ .
\item[P1] Biblioteca de celdas (C( $\Sigma$ )A, C( $\Sigma$ )S, C( $\Sigma$ )D, C( $\Sigma$ )N, Latch) en  $\text{die}$  fotónico o spintrónico.
\item[P2] Matriz  $\langle\langle 32 \times 32 \rangle\rangle$  con bus  $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle$  y  $\text{clock}$  por pulsos; tarea demostrativa (clustering/Ising/CSL-H).
\item[P3] Módulo  $\text{edge}$  para SAC-EMERG: inferencia de riesgos con red  $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle$  dedicada.
\end{description}
```

**Seguridad, energía y gobernanza**

Operación no invasiva, sin radiación ionizante;  $\text{failsafe}$  por apagado de ganancia y desacople  $\langle\langle K \rightarrow 0 \rangle\rangle$ ; trazabilidad de  $\langle\langle\Sigma\rangle\rangle$  en  $\text{logs}$  experimentales para auditoría TMRCU.

```
\end{document}
```