

SYNCTRON / Σ 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{\1}{\mathbf{1}}
\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}  $\Sigma \in [0,1]$ , 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  $\Sigma$ -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  $\Sigma$ , 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 \Sigma = 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+ic) |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  $\Sigma$  se hace como  $R$  o  $A$  normalizado.

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

SYNCTRON / Σ FET – Propuesta TMRCU (Fuente LaTeX)

```
\begin{itemize}
\item \textbf{Fuente/Entrada}  $(z_{\mathrm{in}})$ : señal de coherencia a acoplar (óptica, magnónica o microondas).
\item \textbf{Canal}  $(z)$ : oscilador activo con parámetro controlable  $(\mu = \mu_0 + \alpha V_g)$  (bombeo  $(P_g)$ ).
\item \textbf{Compuerta}  $(g)$ : controla  $(\mu)$  y el acople  $(K)$  hacia  $(z_{\mathrm{in}})$  (interferómetro, válvula de spin o acoplador sintonizable).
\item \textbf{Dren/Salida}  $(z_{\mathrm{out}})$ : señal coherente. Define  $(\text{Sig}_{\text{out}}) \propto | \angle e^{i(\text{ang} - \Phi_{\mathrm{in}})} | \angle | )$ .
\end{itemize}
\subsection{Ecuación efectiva con compuerta}
\begin{equation}
\dot{z} = (\mu_0 + \alpha u_g + i\omega)z - (1 + ic)|z|^2 z + K(u_g)z_{\mathrm{in}}.
\end{equation}
\textbf{Modo ON} (coherente):  $(u_g)$  tal que  $(\mu_{\mathrm{eff}} > 0)$  y  $(K)$  alto; \textbf{Modo OFF} (incoherente):  $(\mu_{\mathrm{eff}} \leq 0)$  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  $(\text{ang})$ ;  $(R)$  por correlación de fase
\item \textbf{Ventajas:} integrable a gran escala, latencias sub-ns– $\mu$ s.
\end{itemize}
\subsection{Magnónica / Spintrónica (STNO, SHNO)}
\begin{itemize}
\item \textbf{Canal:} osciladores de spin torque con auto-oscilación cerca del umbral  $(\mu \sim I - I_{\mathrm{th}})$ .
\item \textbf{Compuerta:} corriente de compuerta que ajusta  $(\mu)$  y acople por guías de onda magnónicas/tunables.
\item \textbf{Lectura:} magnetorresistencia y fase de precesión.
\item \textbf{Ventajas:} frecuencia  $\mu$ 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 acoples con lazos SQUID (tunable  $(K)$ ).
\item \textbf{Lectura:} homodina a  $\mu$ mK; ultra-bajo ruido.
\item \textbf{Ventajas:} coherencia extrema; \textbf{Contrainte:} criogenia.
\end{itemize}

\section{Celdas  $(\Sigma)$ -lógicas (biblioteca estándar)}
\subsection{Acople  $(C(\Sigma)A)$ :  $(\text{Sig}_{\mathrm{out}}) \approx \text{Sig}_1 \text{Sig}_2$ )}
Realización: gating del acople  $(K \propto \text{Sig}_1)$  hacia un canal cuyo  $(\mu \propto \text{Sig}_2)$ . Solo cuando ambas altas, el oscilador bloquea y eleva  $(R)$ .
\subsection{Sincronización  $(C(\Sigma)S)$ :  $(\text{Sig}_{\mathrm{out}}) \approx \max(\text{Sig}_1, \text{Sig}_2)$ )}
Red winner-take-all de dos SYNCTRONs acoplados a un tercer nodo de lectura saturable; el mayor  $(\Sigma)$  domina.
\subsection{Desincronización  $(C(\Sigma)D)$ :  $(\text{Sig}_{\mathrm{out}}) \approx |\text{Sig}_1 - \text{Sig}_2|$ )}
Interferencia controlada:  $(|z_1 - z_2|)$  en un 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  $(\Sigma = 1)$  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 (histéresis); lectura no destructiva por acople débil.

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

SYNCTRON / Σ FET – Propuesta TMRCU (Fuente LaTeX)

que re-fijan Φ global (re-sincronización). Σ -routers basados en MZI/SQUID para Σ sin colisión de fase.

Σ Mapeo TMRCU \rightarrow parámetros de dispositivo

$\begin{aligned} V(\Sigma, \chi) = & -\frac{1}{2} \mu^2 \Sigma^2 + \frac{\lambda}{4} \Sigma^4 + \frac{g}{2} \Sigma^2 \chi^2, \quad \mu \rightarrow \text{ganancia/bombeo}, \lambda \rightarrow \text{no linealidad}, g \rightarrow \text{acople al sustrato}. \end{aligned}$

La compuerta ajusta μ y K ; la lectura estima R (o $|z|$) como Σ .

Especificaciones objetivo (targets iniciales)

$\begin{aligned} \text{Latencia de sincronización } \tau_{\text{sync}} & \text{ sub-}\mu\text{s (fotónica) / } \text{ns--}\mu\text{s (spintrónica) / } \text{ns--}\mu\text{s (JJ)}. \\ \text{Escalado: } & \text{mallas } (10 \times 10) \text{ (P1) hasta } (32 \times 32) \text{ (P2) con } \text{reclocking} \text{ por pulsos.} \\ \text{Lectura } \Sigma & \text{: estimador } R \text{ con varianza relativa } < 5\% \text{ en ventanas de } 10 \text{ ns--}\mu\text{s}. \\ \text{Robustez al desajuste: } & \text{bloqueo de fase para } |\Delta\omega| \leq \Delta\omega_{\text{lock}} \text{ (medible por barrido).} \end{aligned}$

Banco de pruebas y falsabilidad

Experimentos mínimos viables

$\begin{aligned} \text{SYNCTRON solo: } & \text{curva } \Sigma(u_g) \text{ y umbral de Hopf; histéresis controlada.} \\ C(\Sigma)A: & \text{medir } \Sigma_{\text{out}}(\Sigma_1, \Sigma_2) \text{ y ajuste } \Sigma_1 \Sigma_2 \text{ (RMSE } < 0.1\%). \\ C(\Sigma)S: & \Sigma_{\text{out}} \approx \max(\Sigma_1, \Sigma_2) \text{ con error } < 0.1\%. \\ \text{Latch: } & \text{retención } > 1 \text{ s (fotónica con ganancia) o } > 1 \text{ ms (spintrónica) sin refresh.} \end{aligned}$

Criterios de refutación

Fracaso sostenido en alcanzar los ajustes anteriores con potencia estadística ≥ 0.9 y

$\alpha=0.01$; incapacidad de escalar más allá de malla (10×10) con errores de fase $> 10\%$

Ruta de integración

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

Seguridad, energía y gobernanza

Operación no invasiva, sin radiación ionizante; failsafe por apagado de ganancia y desacople

$K \rightarrow 0$; trazabilidad de Σ en logs experimentales para auditoría TMRCU.

$\end{document}$