

# Tesis de grado

## Diseño de un generador de pulsos ultracortos

Miguel Perez Andrade

Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires

12 de diciembre de 2023



Director: Dr. Ing. Andrés Altieri

Jurados: Dr. Ing. Mariano Garcia Inza, Dr. Ing. Gustavo Fano, Dra. Inga.  
Cecilia Galarza

# Contenido

## 1 Introducción

- UWB
- Arquitecturas UWB
- Requerimientos

## 2 Diseño

- Diodo SRD
- Generador de pulsos
- Driver
- PCB y fabricación

## 3 Mediciones

- Resultados
- Comparación con estado del arte
- Aplicaciones

## 4 Conclusiones

- Conclusiones
- Trabajos a futuro

# Introducción

## 1 Introducción

- UWB
- Arquitecturas UWB
- Requerimientos

## 2 Diseño

## 3 Mediciones

## 4 Conclusiones

# Introducción a UWB

## UWB Impulsivo

- Ancho de banda muy elevado  $\leftrightarrow$  duración temporal muy corta.
- Definición FCC: ancho de banda a 10 dB mayor a 500 MHz o 20% de la frecuencia portadora.

## Aplicaciones

- Radar.
- Comunicaciones.
- Imágenes médicas.
- Caracterización de materiales.

# Introducción

## 1 Introducción

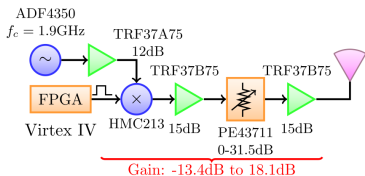
- UWB
- Arquitecturas UWB
- Requerimientos

## 2 Diseño

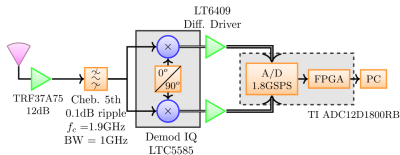
## 3 Mediciones

## 4 Conclusiones

# Arquitecturas con multiplicadores de frecuencia



Camino de transmisión en plataforma UWB. Tomado de [1].

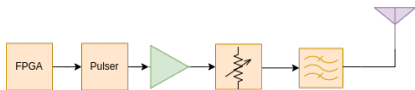


Camino de recepción en plataforma UWB. Tomado de [1].

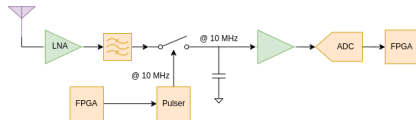
## Características

- Conversión entre banda base y pasante mediante multiplicadores de frecuencia.
- Banda pasante: 1.4 GHz a 2.4 GHz
- Componentes costosos y complejos.

# Arquitecturas basadas en pulsos ultracortos



Propuesta de camino de transmisión en plataforma UWB basado en generador de pulsos ultra cortos.



Propuesta de camino de recepción en plataforma UWB basado en generador de pulsos ultra cortos.

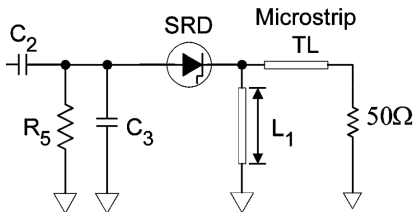
## Características

- Procesamiento de señales en banda pasante.
- Eliminación de multiplicadores y conversor de alta tasa.
- Componentes de bajo costo.
- Desempeño fuertemente ligado al ancho de banda y amplitud de pulso.

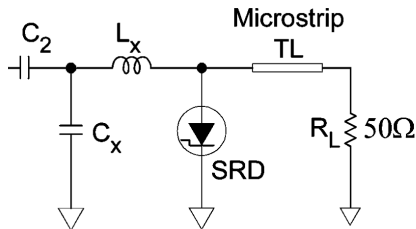
# Generadores de pulsos ultracortos

## Características

- Componente fundamental de un sistema UWB.
- Parámetros principales: amplitud, ancho de banda, forma temporal.
- Implementación integrada: suma de señales desfasadas.
- Implementación discreta: basada en diodo SRD.



Generador SRD serie. Tomado de [2].



Generador SRD paralelo. Tomado de [2].



# Introducción

## 1 Introducción

- UWB
- Arquitecturas UWB
- **Requerimientos**

## 2 Diseño

## 3 Mediciones

## 4 Conclusiones

## Requerimientos del generador

- $V_{in}$  y  $V_{dd}$  se determinan en base a la integración con el resto del sistema
- $A$ , FWHM y PRF se determinan en base a las necesidades de las aplicaciones.

Variable	Requerimiento
$V_{in}$	CMOS @ $V_{DD} = 3.3\text{ V}$ ( $V_{OH} 2.4\text{ V}$ )
$V_{dd}$	
PRF	5 V - 8 V
$A$	10 MHz
FWHM	500 mV-1.5 V
	120 ps

Requerimientos del generador de pulsos.

# Diseño

## 1 Introducción

## 2 Diseño

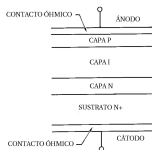
- Diodo SRD
- Generador de pulsos
- Driver
- PCB y fabricación

## 3 Mediciones

## 4 Conclusiones

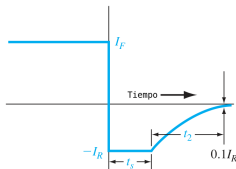
# Diodo SRD

- Es un tipo de diodo de almacenamiento de carga.
- Diodo PIN con capa I muy fina.
- Distinguido por su característica de recuperación inversa.
- Tiempo de almacenamiento  $t_s$  largo y de transición  $t_t$  corto.
- Tiempo de almacenamiento  $t_s$  largo por un tiempo de vida de portadores  $\tau$  largo.

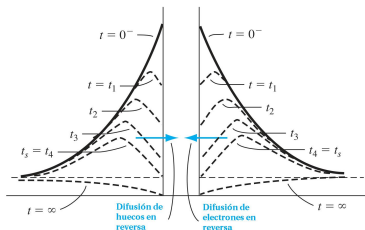


Estructura física del diodo SRD. Tomado de [3].

# Característica de recuperación inversa



Recuperación inversa de un diodo.  
Tomado de [4]



Evolución de densidad de portadores en  
el proceso de recuperación inversa.  
Tomado de [4]

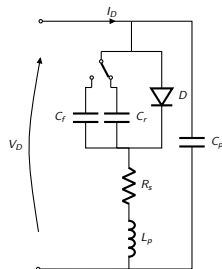
## Características

- Los tiempos de recuperación están asociados a la remoción de carga almacenada.
- $t_t \approx x_0^2/D$ ,  $x_0$  centro de gravedad de distribución de carga [5].

# Modelos de simulación SRD

- A orden 0, modelado como una capacidad infinita en directa y nula en reversa.
- Prácticamente, modelado como la capacidad de difusión (muy grande) en directa y la de juntura en reversa.
- El modelo contempla el tiempo de vida de portadores  $\tau$  a través de la capacidad  $C_f$  pero no el tiempo de transición  $t_t$ .

$$Q(V) = \begin{cases} C_r V & V \leq 0 \\ c(V + a)^2 - b & 0 < V < \phi \\ C_f V + Q_{rmp} - C_f \phi & V \geq \phi \end{cases}$$

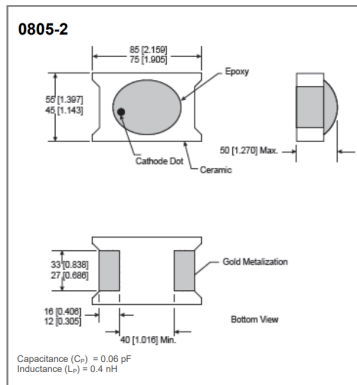


Modelo de simulación del SRD.

# Selección del SRD

Modelo	$V_B$ [V]	$C_j$ [pF]		$\tau_m$ [ns]		$t_t$ [ps]	
	Min	Min	Max	Min	Typ	Typ	Max
MMD805-0805-2	60	2.56	3.56	80	100	250	300
MMD810-0805-2	50	1.75	2.75	40	70	200	250
MMD820-0805-2	40	1.06	1.76	30	60	80	100
MMD830-0805-2	25	0.56	1.06	15	30	60	80
MMD832-0805-2	20	0.46	0.86	10	15	60	80
MMD835-0805-2	15	0.36	0.86	10	20	50	70

- Se optó por el MMD830.
- Se optó por el encapsulado cerámico 0805-2.



# Diseño

## 1 Introducción

## 2 Diseño

- Diodo SRD
- **Generador de pulsos**
- Driver
- PCB y fabricación

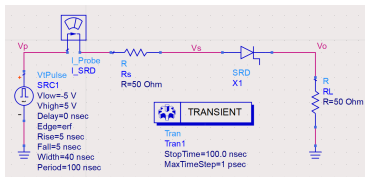
## 3 Mediciones

## 4 Conclusiones



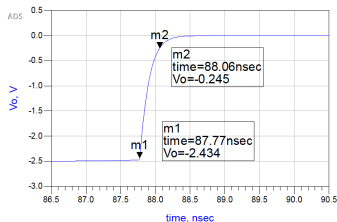
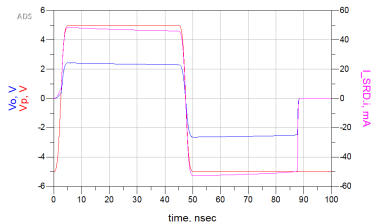
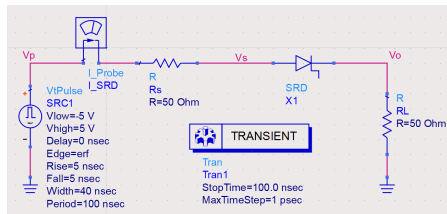
# SRD como acelerador de flanco I

- Debido al  $t_s$  lento y el  $t_t$  rápido, el SRD tiene aplicaciones en aceleración de flancos.
- El SRD conduce durante un período de la tensión negativa, y con la conmutación al estado de alta impedancia se genera un flanco con tiempo de crecimiento  $t_r \approx t_t$
- La expresión completa es  $t_r = \sqrt{t_t^2 + t_{RC}^2}$  [6].
- La amplitud del flanco es  $\Delta V = V_- \times \frac{R_L}{R_L + R_s}$ .



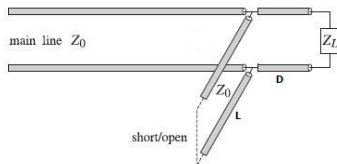
# SRD como acelerador de flanco II

- $\Delta V = 2.5 \text{ V}$
- $t_r = 290 \text{ ps}$



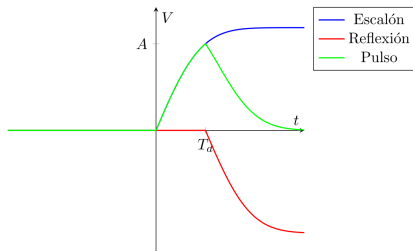
# Stub

- Un *stub* es una línea de transmisión en paralelo.
- Si el *stub* se encuentra cortocircuitado, la señal se reflejará con fase opuesta.
- Definiendo  $\kappa_{\text{eff}}$ , el retardo de propagación en el stub es
$$T_d = \sqrt{\kappa_{\text{eff}}} \times \frac{2L}{c_0}.$$



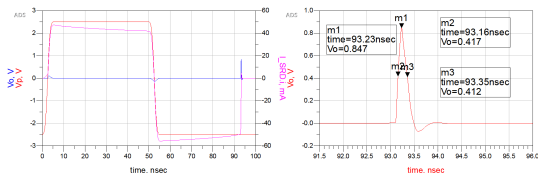
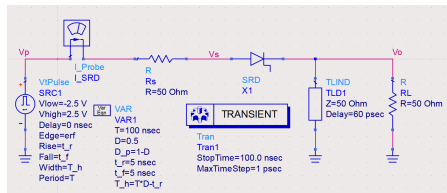
# Stub como formador de pulso I

- Agregando un *stub* al acelerador de flanco se conforma un pulso a partir del escalón de tensión.
- El máximo del pulso se dará en  $T_d$ .
- Si el  $t_r$  de entrada es comparable a  $T_d$ , el ancho de pulso será  $2 \times T_d$ .



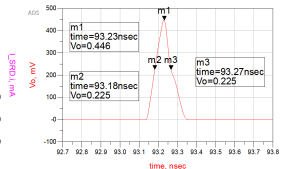
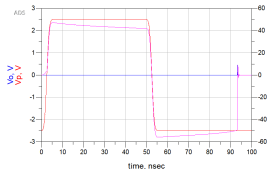
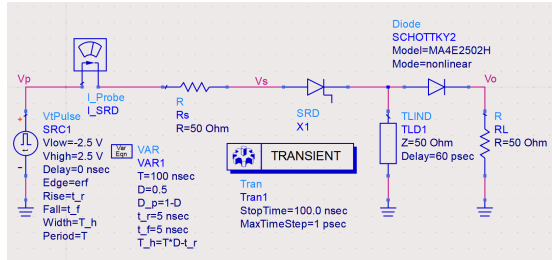
# Stub como formador de pulso II

- $A = 847 \text{ mV}$
- $FWHM = 190 \text{ ps}$



# Generador de pulsos propuesto

- Para evitar el sobrepico negativo, incluimos un rectificador
- Es de fundamental importancia la velocidad del rectificador.
- $A = 446 \text{ mV}$
- $FWHM = 190 \text{ ps}$



## Métricas del generador

- La amplitud es dependiente de la alimentación  $V_{dd}$ .
- Se calcula el consumo máximo para una alimentación máxima de 10 V.
- Para el ancho de banda se aproxima al pulso por uno gaussiano.

Parámetro	Valor
$I_{RMS}$	$< 200 \text{ mA}, V < 10 \text{ V}$
FHWM	190 ps
BW 3 dB	3.46 GHz
BW 10 dB	6.32 GHz
A	$\approx \frac{V_-}{2} - V_{schottky}$

# Diseño

## 1 Introducción

## 2 Diseño

- Diodo SRD
- Generador de pulsos
- **Driver**
- PCB y fabricación

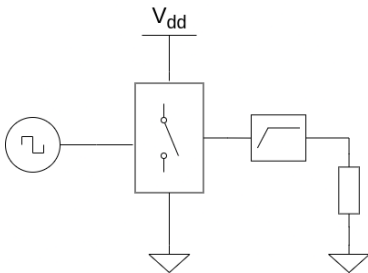
## 3 Mediciones

## 4 Conclusiones



# Driver

- Objetivos del driver
  - ▶ Generación de cuadrada bipolar en base a fuente unipolar.
  - ▶ Adaptar el pulso unipolar de baja capacidad de carga de la FPGA.
- Propuesta:
  - ▶ Llave para presentar baja carga a la FPGA y trabajar con todo el rango de tensión  $V_{dd}$ .
  - ▶ Filtro pasaltos para eliminar componente de continua.



# Implementación de la llave

- Para realizar la conmutación entre tierra y  $V_{dd}$ , se utilizó un integrado *gate driver* LM5114 de Texas Instruments.
- Es un dispositivo de muy bajo costo y muy simple integración.
- Permite trabajar en un amplio rango de tensiones de alimentación y tiene una capacidad de entrega de corriente considerable.

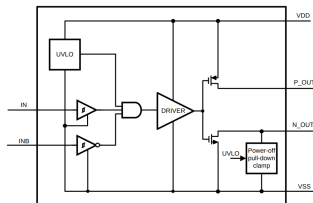


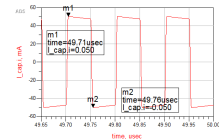
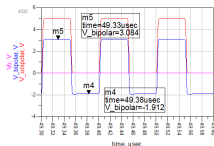
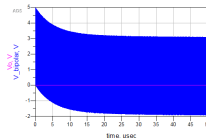
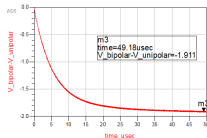
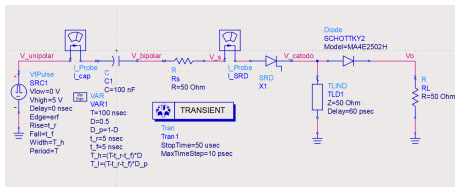
Diagrama en bloques del LM5114.

Variable	Requerimiento
$V_{in}$	CMOS @ $V_{DD} = 3.3V$ ( $V_{OH} 2.4V$ )
$f_{in}$	Typ 10 MHz
$\tau_r / \tau_f$	Max 10 ns
$V_{dd}$	5V - 8V
$I_{out}$	Max 200 mA

Requerimientos de la llave.

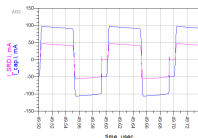
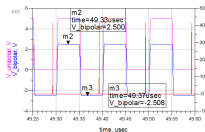
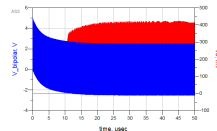
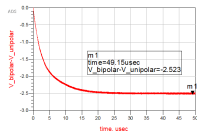
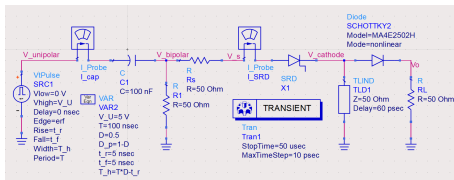
# Filtro pasa altos I

- Se implementa el filtrado con un capacitor serie.
- Para una carga lineal, la tensión negativa será  $V = D' \times V_{dd}$
- La carga que presenta el pulser es no lineal.
- En estado permanente, la corriente en el capacitor está balanceada.
- Esto resulta en el SRD no conmutando al estado de alta impedancia.



# Filtro pasa altos II

- Para solucionar el problema, se agrega una resistencia en paralelo al pulser.
- Ahora la corriente del pulser mantiene su forma original.
- Como desventaja, se incrementa el consumo.



# Diseño

## 1 Introducción

## 2 Diseño












- Diodo SRD
- Generador de pulsos
- Driver
- PCB y fabricación

## 3 Mediciones

## 4 Conclusiones

# Características del PCB

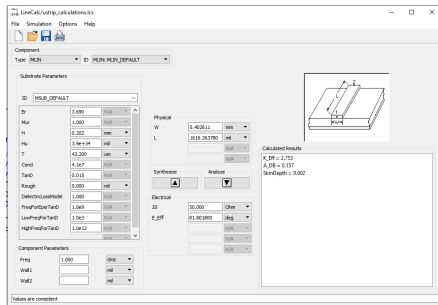
- Se utilizó el servicio de 4 capas por la menor distancia entre planos de señal.
- Se utilizaron únicamente los 2 planos superiores.
- Superior señal, interior tierra.

Thickness	Layer
1mil (0.0254mm)	 silkscreen
1 mil (0.0254mm)	 solder resist
1.7 mil (0.0432mm)	 1 oz copper clad+plated
7.96 mil (0.2021mm)	 FR408HR 2113 prepreg
0.68 mil (0.0175mm)	 0.5 oz copper clad
39 mil (0.9906mm)	 FR408HR core
0.68 mil (0.0175mm)	 0.5 oz copper clad
7.96 mil (0.2021mm)	 FR408HR 2113 prepreg
1.7 mil (0.0432mm)	 1 oz copper clad+plated
1 mil (0.0254mm)	 solder resist
1mil (0.0254mm)	 silkscreen

Apilamiento de capas del PCB.

# Cálculo del stub

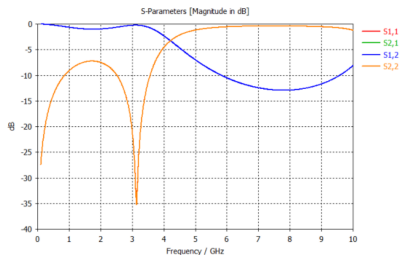
- Para  $Z_0 = 50 \Omega$ ,  
 $W = 0.4 \text{ mm}$ .
- Con  $\kappa_{\text{eff}} = 2.753$ , para  
un  $2 \cdot T_d = 120 \text{ ps}$ ,  
 $L = 10.85 \text{ mm}$



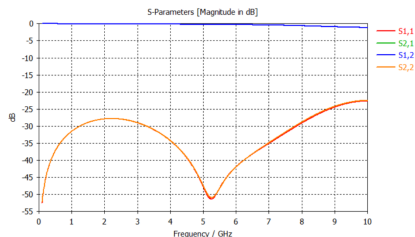
Cálculo de línea de transmisión para obtener  $50 \Omega$ .

# Adaptación del conector

- Se modificó el plano de tierra bajo el conector SMA para mejorar su desempeño.
- Se validó la mejora con una simulación de elementos finitos en CST.



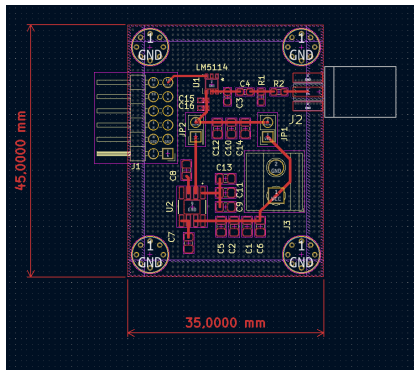
Desempeño del conector conectado directamente.



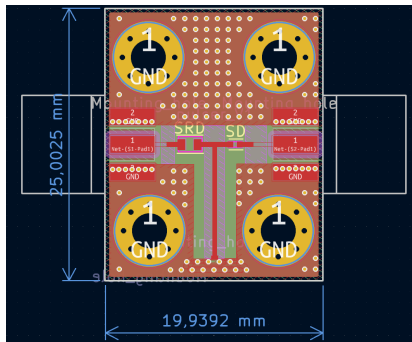
Desempeño del conector con la mejora propuesta.



# Resultado final



PCB del driver.



PCB del pulser.

# Mediciones

1 Introducción

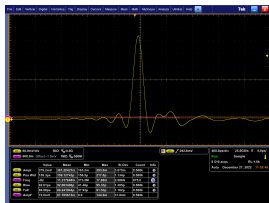
2 Diseño

3 Mediciones

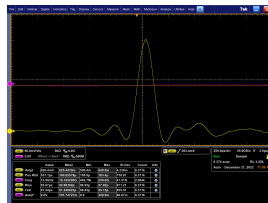
- Resultados
  - Comparación con estado del arte
  - Aplicaciones

4 Conclusiones

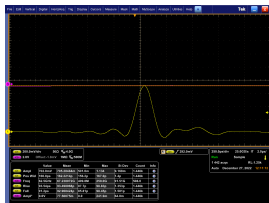
# Resultados I



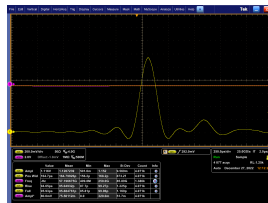
$V_{cc}$  5V, D 50%



$V_{cc}$  5V, D 70%



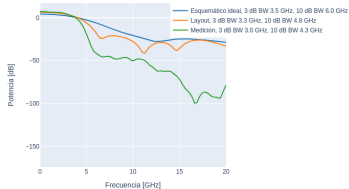
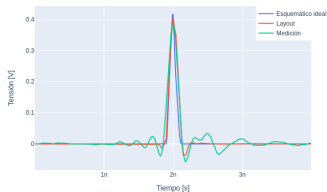
$V_{cc}$  7V, D 50%



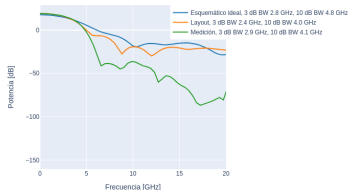
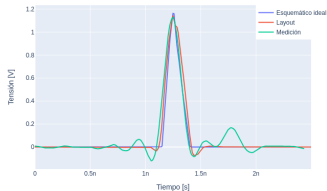
$V_{cc}$  7V, D 70%

# Resultados II

$V_{CC}$  5 V, D 50 %



$V_{CC}$  7 V, D 70 %



# Resumen de resultados

$V_{cc}$ [V]	$D$ [%]	$A$ [V]	FWHM [ps]	3 dB $B$ [GHz]	10 dB $B$ [GHz]	$t_r$ [ps]	$t_f$ [ps]
5	50	0.380	159	3.0	4.3	93	88
5	70	0.625	161	2.8	4.5	93	91
7	50	0.702	162	2.9	4.5	93	93
7	70	1.120	165	2.9	4.1	95	96

Resultados de mediciones de pulso.

# Mediciones

1 Introducción

2 Diseño

3 Mediciones

- Resultados
- Comparación con estado del arte
- Aplicaciones

4 Conclusiones

# Comparación con estado del arte

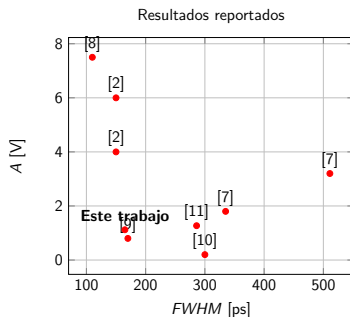
Ref.	$A$ [V]	$FWHM$ [ps]	Bal <sup>a</sup>	Bias	Dispositivos	$V_{cc}$ [V]	$V_{in}$ [V]	PRF [MHz]
[7]	$\pm 0.896, \pm 1.6$ <sup>b</sup>	335, 511	Sí	Int	SRD	5	TTL	50
[8]	-7.5	110	No	Ext	SRD+3TBJ+SD	12	TTL	5
[9]	0.8	170	No	Int	SRD	4	4	10
[10]	0.2	300	No	Ext	SRD+2SD	?	?	10
[2]	-6, -4	150	No	Int	SRD+L	20	5	12
[11]	1.27 <sup>c</sup>	286	No	Int	2SRD+L	10	10 <sup>d</sup>	?
<b>Prop.</b>	1.12	165	No	Int	SRD+SD	7	CMOS	10

<sup>a</sup> Balanceado.

<sup>b</sup> la publicación presenta dos resultados, correspondientes a circuitos con componentes concentrados y distribuidos.

<sup>c</sup> la publicación presenta múltiples resultados, se muestran los mejores.

<sup>d</sup> la señal de entrada es senoidal.



# Mediciones

1 Introducción

2 Diseño

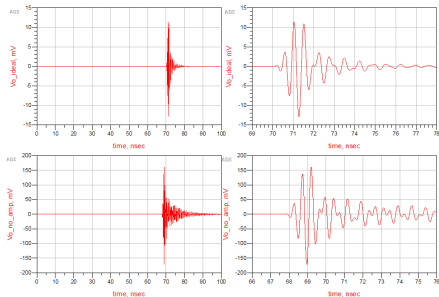
3 Mediciones

- Resultados
- Comparación con estado del arte
- Aplicaciones

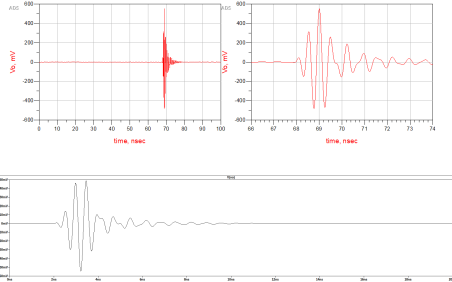
4 Conclusiones



# Aplicaciones en transmisión I

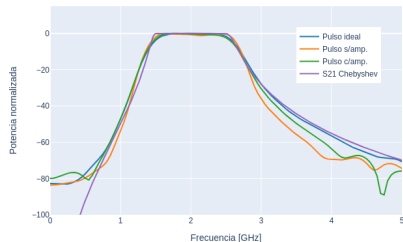


Simulación con pulso ideal y pulser sin buffer.

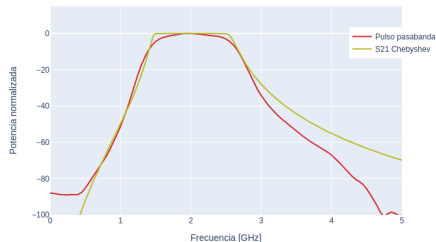


Simulación con buffer y con pulso medido.

# Aplicaciones en transmisión II



PSDs de pulsos simulados.



PSDs de simulación utilizando pulso medido.

# Conclusiones

1 Introducción

2 Diseño

3 Mediciones

4 Conclusiones

- Conclusiones

- Trabajos a futuro

# Conclusiones

- Se logró implementar un generador de pulsos con los requisitos establecidos.
- El circuito resultante es de muy bajo costo y fácil integración en sistemas UWB.
- Se comprobó exitosamente la aplicación del generador desarrollado en caminos de transmisión UWB.
- Los resultados obtenidos son comparables o superiores con los del estado del arte.

# Conclusiones

1 Introducción

2 Diseño

3 Mediciones

4 Conclusiones

- Conclusiones

- Trabajos a futuro

# Trabajos a futuro

- Explorar mejoras al modelo del SRD o de los componentes parásitos para replicar los efectos observados en medición.
- Implementar el circuito de transmisión UWB propuesto.
- Simular e implementar el circuito de recepción UWB propuesto.

# Referencias I

- [1] A. Altieri, M. Bouza, J. A. Maya, and C. G. Galarza, “Design and evaluation of an impulsive ultrawideband system for estimating the moisture content of polyamide targets,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 70, pp. 1–9, 2021.
- [2] J. Han and C. Nguyen, “Coupled-slotline-hybrid sampling mixer integrated with step-recovery-diode pulse generator for uwb applications,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, no. 6, pp. 1875–1882, 2005.
- [3] S. A. Maas, *Nonlinear Microwave and RF Circuits*. Boston • London: Artech House, second ed., 2003.
- [4] D. A. Neamen, *Semiconductor Physics And Devices: Basic Principles*. New York: McGraw-Hill, 4th ed., 2012.
- [5] J. L. Moll, S. Krakauer, and R. Shen, “P-n junction charge-storage diodes,” *Proceedings of the IRE*, vol. 50, no. 1, pp. 43–53, 1962.

## Referencias II

- [6] Hewlett-Packard, “Pulse and Waveform Generation with Step Recovery Diodes,” Tech. Rep. 918, Hewlett-Packard, 1984.
- [7] P. Rulikowski and J. Barrett, “Truly balanced step recovery diode pulse generator with single power supply,” in *Proceedings. 2004 IEEE Radio and Wireless Conference (IEEE Cat. No.04TH8746)*, pp. 347–350, 2004.
- [8] P. Protiva, J. Mrkvica, and J. Macháč, “A compact step recovery diode subnanosecond pulse generator,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, no. 2, pp. 438–440, 2010.
- [9] A. Kamal, A. Bhattacharya, M. Tamrakar, and C. Roy, “Low-ringing and reduced-cost step recovery diode based uwb pulse generators for gpr applications,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no. 10, pp. 2289–2294, 2014.



## Referencias III

- [10] J. Han and C. Nguyen, “A new ultra-wideband, ultra-short monocycle pulse generator with reduced ringing,” *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 12, no. 6, pp. 206–208, 2002.
- [11] D. Oloumi and E. Fear, “A picosecond pulse generator using srd diodes: Design, analysis, and measurements,” in *2018 USNC-URSI Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium)*, pp. 159–160, 2018.

*Gracias por su atención.  
¿Preguntas?*