

# Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>3</b>
2.1. Travelling-wave kinetic inductance parametric amplifier . . . . .	3
2.2. Amplificación paramétrica . . . . .	3
2.2.1. Mezclador de cuatro ondas . . . . .	4
2.2.2. Efecto Kerr . . . . .	5
2.2 Efecto Kerr Óptico . . . . .	5
2.2.3. Cancelación de bombeo . . . . .	10
2.3. Teoría de superconductores . . . . .	10
2.3.1. Inductancia cinética . . . . .	11
2.4. Filtros en microondas . . . . .	14
2.4.1. Guía de onda coplanar . . . . .	16
2.4.2. Microstrip . . . . .	19
2.4.3. Impedancia superficial en líneas superconductoras . . . . .	21
2.5. Línea microstrip en HFSS . . . . .	23
2.6. Resumen capítulo . . . . .	26
<b>3. Implementación</b>	<b>27</b>
3.1. Relación de dispersión . . . . .	27
3.1.1. Diseño filtro periódico en microstrip . . . . .	31
3.2. Ecuaciones de acoplamiento . . . . .	33
3.3. Diseño de línea superconductora en HFSS . . . . .	36
3.3.1. Replicación de resultados . . . . .	36
3.3.2. Pérdidas en una línea superconductora . . . . .	38
3.3.3. Microstrip invertida a $50[\Omega]$ . . . . .	43
3.4. Resumen del capítulo . . . . .	44
<b>4. Conclusiones</b>	<b>45</b>
4.1. Objetivos generales y específicos . . . . .	45
4.2. Problemas durante el trabajo . . . . .	45
<b>5. Bibliografía</b>	<b>47</b>

# Índice de figuras

2.1. El péndulo oscila a una frecuencia natural $\omega$ , mientras que la cuerda oscila a una frecuencia $2\omega$ , esto produce el efecto de amplificación paramétrica [4]. . . . .	4
2.2. Esquema de entradas con frecuencias $f_{pump}$ , $f_{signal}$ y salidas $f_{pump}$ , $f_{signal}$ y $f_{idler}$ para el mezclador de cuatro ondas [5]. . . . .	4
2.3. Esquema ilustrativo del efecto de la línea periódica, este representa la diferencia de la constante de propagación de la línea y la dispersión lineal $k_0$ , donde la frecuencia $\omega_p$ se encuentra en en una banda de propagación, mientras que la frecuencia $3\omega_p$ es bloqueada [2]. . . . .	9
2.4. Filtro periódico de líneas de transmisión con entradas $V_n$ y $I_n$ , y salidas $V_{n+1}$ y $I_{n+1}$ , donde los $Z_j$ representan la matriz de impedancias de la línea $j$ . . . . .	14
2.5. Esquema de una línea de onda coplanar, donde $h_1$ y $h_2$ son las alturas de los sustratos de permitividad relativa $\epsilon_{r1}$ y $\epsilon_{r2}$ respectivamente, $h_3$ y $h_4$ son las distancias entre los sustratos y las cubiertas metálicas, $W$ es la distancia entre la tierra y la pista conductora y $S$ es el ancho de esta. [16]. . . . .	17
2.6. Figura de una línea en microstrip, el cual tiene una línea conductora de largo $L$ , ancho $W$ y espesor $d$ . Un sustrato de altura $H$ con una permitividad relativa $\epsilon_r$ y una tangente de pérdidas de ángulo $\delta$ y en la capa inferior un plano de tierra [17]. . . . .	20
2.7. Menú de la opción Impedance, utilizando el comando <b>pwl</b> para definir una impedancia superficial [24]. . . . .	24
2.8. Menú donde se muestran las propiedades necesarias para caracterizar el material [25]. . . . .	25
3.1. Filtro utilizando un modelo de líneas de transmisión, donde las características de las líneas están representadas por el subíndice $u$ o <i>unloaded</i> y las perturbaciones por el subíndice $l$ o <i>loaded</i> . . . . .	28
3.2. Relación de dispersión del filtro periódico obtenida utilizando los parámetros de la tabla 3.2. . . . .	29
3.3. Relación de dispersión del filtro periódico en AWR usando las medidas de la tabla 3.2. . . . .	30
3.4. Modelo 2D del filtro microstrip en AWR. . . . .	31
3.5. Relación de dispersión del filtro periódico en <i>Wolfram Mathematica</i> usando microstrip con los parámetros de la tabla 3.3. . . . .	32

3.6. Relación de dispersión del filtro periódico en AWR usando microstrip con los parámetros de la tabla 3.3. . . . . .	32
3.7. Amplitudes de las señales pump $A_p$ , signal $A_s$ e idle $A_i$ a lo largo de un resonador de 4[mm] para una frecuencia de 5[GHz], una ganancia de 19[dB] y $\Delta\theta = 4.7$ [rads]. . . . .	34
3.8. <b>(Izquierda:)</b> Ganancias para distintos valores de $\Delta\theta$ sin dispersión ( $\Delta\beta = 0$ ). <b>(Derecha:)</b> Ganancia para distintos valores de dispersión con $\Delta\theta = 3$ [rads] [9]. . . . .	34
3.9. Ganancia obtenida usando las ecuaciones (2.26), (2.27) y (2.28), con $\Delta\beta = k_s + k_i - 2k_c$ <b>(Izquierda:)</b> Utilizando $k_c = k_p$ , con $f_p$ la frecuencia de corte de la relación de dispersión de $k_s$ . <b>(Derecha:)</b> Usando $k_c = k'_p$ , donde $f'_p$ es la frecuencia de corte de $k_i$ [2]. . . . .	35
3.10. Modelo en HFSS de una SML, utilizando una línea de cuatro caras, cada una con una impedancia superficial obtenida en mediante la ecuación (3.6) [21]. .	36
3.11. Comparación con los resultados del SML con un sustrato $SiO_2$ para la figura 6 (izquierda) y 11 (derecha) de V. Belitsky [21]. . . . .	37
3.12. Impedancia de la línea en microstrip utilizando los datos de la tabla 3.6. . . .	37
3.13. Transmisión $S(2, 1)$ usando un sustrato aSi para largos entre 50 a 400[ $\mu m$ ] y frecuencias de 5, 10, 15 y 20[GHz], con $\tan \delta$ de $200 \times 10^{-6}$ y $1000 \times 10^{-6}$ . . .	39
3.14. Impedancia de la línea superconductor en microstrip con SiN y utilizando los parámetros de la tabla 3.6. . . . .	40
3.15. Transmisión $S(2, 1)$ usando un sustrato SiN para largos entre 50 a 400[ $\mu m$ ] y frecuencias de 5, 10, 15 y 20[GHz], con $\tan \delta$ de $200 \times 10^{-6}$ y $1000 \times 10^{-6}$ , el resto de las medidas se encuentra en la tabla 3.6. . . . .	41
3.16. Pérdidas por metro para distintas tangentes de pérdidas para una microstrip invertida en sustrato aSi y SiN, para el resto de los parámetros se utilizó la tabla 3.6. . . . .	42
3.17. Modelo de la microstrip invertida de línea superconductor utilizada [28]. . .	42
3.18. Microstrip invertida superconductor utilizando los datos de la tabla 3.7 para obtener una impedancia de 50[ $\Omega$ ]. . . . .	43

# Índice de tablas

2.1. Condiciones de borde más importantes para el modelo de líneas microstrip en HFSS. . . . .	24
3.1. Medidas dependientes del filtro en microstrip. . . . .	29
3.2. Medidas para la relación de dispersión con frecuencia de corte $f_p = 7,44[GHz]$ . . . . .	29
3.3. Medidas del filtro utilizando línea en microstrip. . . . .	31
3.4. Medidas del filtro usando las ecuaciones de Schneider, Hammerstad y Jensen. . . . .	31
3.5. Medidas del filtro utilizando línea en microstrip utilizando la herramienta TXLine. . . . .	31
3.6. Medidas de la microstrip para el aSi y el SiN. . . . .	37
3.7. Medidas de la microstrip invertida con impedancia característica de $50[\Omega]$ . . . . .	43