
| | Página |
|--|--------|
| Capítulo 1. Introducción | |
| 1.1. Motivación del proyecto..... | 13 |
| 1.2. Objetivos del proyecto..... | 15 |
| 1.3. Estructura de la memoria | 15 |
| | |
| Capítulo 2. Antenas Microstrip. | |
| 2.1. Introducción..... | 19 |
| 2.1.1. Definición..... | 20 |
| 2.1.2. Ventajas e inconvenientes..... | 21 |
| 2.1.3. Aplicaciones | 23 |
| 2.2. Principio de funcionamiento del radiador microstrip | 24 |
| 2.2.1. Líneas de transmisión microstrip..... | 25 |
| 2.2.2. Discontinuidades microstrip | 31 |
| 2.2.3. Mecanismo de radiación de una antena microstrip..... | 35 |
| 2.3. Configuraciones habituales. | 39 |
| 2.3.1. Antenas parche | 40 |
| 2.3.2. Dipolos microstrip..... | 41 |
| 2.3.3. Antenas ranuradas impresas | 41 |
| 2.3.4. Antenas microstrip de onda viajera | 42 |
| 2.4. Estructuras de alimentación. | 44 |
| 2.4.1. Alimentación por sonda coaxial..... | 44 |
| 2.4.2. Alimentación por línea microstrip. | 46 |
| 2.4.3. Alimentación por acoplamiento electromagnético de línea microstrip | 49 |
| 2.4.4. Alimentación microstrip acoplada por abertura..... | 50 |
| 2.4.5. Alimentación por guía de onda coplanar..... | 51 |
| 2.5. Campos radiados y características..... | 53 |
| | |
| Capítulo 3. Modelado y consideraciones de diseño sobre Antenas Parche Microstrip. | |
| 3.1. Modelado de las Antenas Parche Microstrip..... | 63 |
| 3.1.1. Modelo de línea de transmisión..... | 63 |
| 3.1.2. Modelo de cavidad resonante | 72 |

| | Página |
|--|--------|
| 3.2. Consideraciones de diseño de una antena parche | |
| rectangular | 79 |
| 3.2.1. Selección del sustrato | 80 |
| 3.2.2. Elección de las dimensiones del parche | 80 |
| 3.2.3. Patrones de radiación y resistencia de radiación | 82 |
| 3.2.4. Pérdidas y factor de calidad | 88 |
| 3.2.5. Ancho de banda | 88 |
| 3.2.6. Eficiencia de radiación..... | 90 |
| 3.2.7. Polarización | 92 |
| 3.2.8. Efectos del uso de cubiertas dieléctricas | 93 |
| 3.2.9. Efectos del tamaño finito del plano de tierra. | 94 |
| | |
| Capítulo 4. Diseño teórico de la antena | |
| 4.1. Especificaciones. | 99 |
| 4.2. Polarización circular. | 101 |
| 4.2.1. Soluciones para la polarización circular. | 101 |
| 4.2.2. Solución propuesta..... | 104 |
| 4.2.3. Estudio de la polarización circular en antenas microstrip de parche cuadrado..... | 106 |
| 4.3. Substrato utilizado..... | 112 |
| 4.4. Cálculo de las dimensiones de la antena | 113 |
| 4.5. Selección del tipo de alimentación. | 117 |
| | |
| Capítulo 5. Diseño de la antena asistido por ordenador | |
| 5.1. Software de CAD utilizado: Advanced Design System (ADS)..... | 121 |
| 5.1.1. Características | 121 |
| 5.2.2. Herramientas empleadas. | 123 |
| 5.2. Metodología de diseño. | 129 |
| 5.3. Prototipo A: Parche cuadrado básico sin alimentador..... | 130 |
| 5.4. Prototipo B: Parche cuadrado alimentado por un transformador en $\lambda/4$ de línea microstrip. | 136 |
| 5.5. Prototipo C: Parche cuadrado de esquinas truncadas con polarización circular a derechas, no adaptado en impedancia. | 141 |

| | Página |
|---|--------|
| 5.6. Prototipo D: Antena Parche Cuadrada de esquinas truncadas, CP a derechas y adaptada mediante un transformador en $\lambda/4$ | 146 |
| 5.7. Prototipo E: Antena Parche Cuadrada de esquinas truncadas, linealmente polarizada alimentado por abertura rectangular. | 151 |
| 5.8. Prototipo final: Antena Parche Cuadrada CP a derechas con la técnica de las esquinas truncadas, alimentada por abertura en cruz. | 157 |
| Capítulo 6. Resultados y construcción del prototipo. | |
| 6.1. Resultados de la simulación con ADS..... | 163 |
| 6.1.1. Simulación de los parámetros S..... | 164 |
| 6.1.2. Simulación de los campos radiados..... | 169 |
| 6.2. Construcción del prototipo y resultados..... | 178 |
| Capítulo 7. Conclusiones y líneas futuras | 183 |
| Bibliografía y referencias. | 186 |

Índice de figuras

| Descripción | Página |
|---|--------|
| 1.1. Esquema de funcionamiento del GPS. | 14 |
| 1.2. Emisión de señal de un satélite GPS. | 14 |
| <hr/> | |
| 2.1. Configuración de una línea de transmisión microstrip. | 20 |
| 2.2. Configuración de una antena parche rectangular. | 21 |
| 2.3. Sección cruzada de una línea microstrip con la distribución de campos. | 25 |
| 2.4. Algunas discontinuidades microstrip y sus circuitos equivalentes | 32 |
| 2.5. Unión en T microstrip y circuito equivalente. | 33 |
| 2.6. Esquina microstrip optimizada para minimizar la reactancia de la discontinuidad. | 34 |
| 2.7. Distribución de carga y de densidad de corriente en una antena microstrip | 35 |
| 2.8. Distribución del modo TM_{100} en la cavidad microstrip. | 36 |
| 2.9. Densidades de corriente equivalentes en un parche rectangular microstrip. | 37 |
| 2.10. Distribución de densidad de corriente magnética para el modo TM_{100} en los bordes radiantes. | 38 |
| 2.11. Antena parche rectangular con ranuras radiantes horizontales equivalentes. | 39 |
| 2.12. Formas básicas de antenas parche microstrip | 40 |
| 2.13. Dipolo microstrip y línea de alimentación | 41 |
| 2.14. Algunas geometrías de antenas microstrip ranuradas | 42 |
| 2.15. Algunas geometrías de antenas microstrip de onda viajera | 43 |
| 2.16. Alimentador por sonda coaxial | 45 |
| 2.17. Alimentador por línea microstrip en el borde radiante. | 46 |
| 2.18. Alimentador por línea microstrip acoplada mediante separación. | 46 |
| 2.19. Representación del campo magnético tangencial en la interfaz entre el parche y la línea microstrip de alimentación por una densidad de corriente J_z . | 47 |
| 2.20. Alimentador por línea microstrip introducida en el parche. | 48 |
| 2.21. Alimentador por línea microstrip en el borde no radiante. | 48 |
| 2.22. Alimentador microstrip por acoplamiento magnético. | 49 |
| 2.23. Alimentación microstrip acoplada por abertura | 50 |
| 2.24. Alimentador por guía de ondas coplanar | 52 |
| 2.25. Representación de las fuentes de corriente | 56 |
| <hr/> | |
| 3.1. Mecanismo de radiación de una antena parche microstrip, descrito por el modelo de línea de transmisión | 64 |
| 3.2. Circuito equivalente para una antena parche microstrip. | 65 |
| 3.3. Campos en los bordes del parche | 66 |
| 3.4. Coordenadas para una ranura en el plano de tierra equivalente a un borde radiante del parche. | 68 |
| 3.5. Circuito equivalente del modelo de línea de transmisión, incluyendo acoplamiento mutuo entre bordes radiantes y alimentador microstrip introducido en el parche. | 71 |

| | | |
|---|---|-----|
| 3.6. | Modelo de dos ranuras radiantes para determinar los patrones de radiación de un parche microstrip rectangular. | 83 |
| 3.7. | Directividad de una antena parche rectangular como función del grosor del dieléctrico, siendo $\epsilon_r=2.2$. | 86 |
| 3.8. | Variación del ancho de banda de impedancia respecto a la frecuencia de resonancia del modo TM_{10} para un parche rectangular donde $L=1.5W$ | 89 |
| 3.9. | Variación de la eficiencia de radiación y de la ganancia directiva con respecto a la frecuencia de resonancia del modo TM_{10} para un parche rectangular con $L=1.5W$, $\sigma = 5.8 \times 10^{-7}$ S/m y $\tan \delta = 0.0005$. | 91 |
| 3.10. | Variación de la componente contrapolar con respecto a la relación de aspecto W/L para un parche rectangular directamente acoplado con alimentador microstrip. Parámetros: $y_0=0$, $x_0=0.351L$, $f=3.8$ GHz, $h=0.032\lambda_g$. | 93 |
| 3.11. | Parche con una cubierta protectora. | 94 |
| 3.12. | Cambio en la medida de la frecuencia de resonancia con respecto a un cambio en la dimensión finita del plano de tierra. $\epsilon_r = 2.31$, $f = 1.58$ GHz. | 96 |
| 3.13. | Comparativa del patrones en el plano E cuando el parche rectangular presenta un plano de tierra de 2λ y un plano de tierra infinito. | 96 |
| <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> | | |
| 4.1. | Señal L1 y ancho de banda considerado. | 99 |
| 4.2. | Configuraciones típicas de antenas microstrip polarizadas circularmente con alimentación dual. | 102 |
| 4.3. | Configuraciones típicas de una antena microstrip polarizada circularmente con un solo punto de alimentación. (a) parche circular, (b) parche cuadrado | 103 |
| 4.4. | Posible disposición de dos parches linealmente polarizados para una radiación de polarización circular. | 103 |
| 4.5. | Array de 2×2 parches con elementos polarizados linealmente para generación de polarización circular. (a) disposición de banda estrecha, (b) disposición de banda ancha. | 104 |
| 4.6. | Varios tipos de perturbaciones en parches cuadrados para la generación de polarización circular. | 105 |
| 4.7. | Definición del área perturbada en el parche cuadrado de esquinas truncadas. | 105 |
| 4.8. | Coordenadas y dimensiones del parche cuadrado. | 106 |
| 4.9. | Circuito equivalente para una antena parche microstrip con perturbación. | 110 |
| 4.10. | Amplitud y fase de los modos ortogonales para APCP alimentadas por un solo punto | 114 |
| 4.11. | Capas de un parche microstrip acoplado por abertura. | 117 |
| 4.12. | Relaciones entre el parche, la apertura y la línea de alimentación. | 120 |
| 4.13. | Antena Parche circularmente polarizada tipo B, acoplada por apertura en cruz. | 120 |
| <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> | | |
| 5.1. | Ventana principal de ADS | 122 |
| 5.2. | Diagrama de flujo de trabajo con ADS. | 123 |
| 5.3. | Ventana de esquemático | 124 |
| 5.4. | Ventana del editor de layouts en ADS | 125 |
| 5.5. | Definición del sustrato: dieléctricos y metalizaciones | 126 |
| 5.6. | Cuadro de diálogo de la simulación de parámetros S de Momentum. | 127 |
| 5.7. | Cuadro de diálogo de objetivos de optimización. | 128 |
| 5.8. | Figuras de visualización de resultados para la simulación del patrón de radiación. | 128 |

| | | |
|---|---|-----|
| 5.9. | LineCalc | 129 |
| 5.10. | Esquemático de un parche cuadrado básico sin alimentador. | 131 |
| 5.11. | Layout de parche cuadrado básico sin alimentador. | 132 |
| 5.12. | Resultados de la simulación de una AP Linealmente Polarizada, sin adaptación en impedancia. | 134 |
| 5.13. | Visualización del diagrama del campo eléctrico del prototipo A en 3-D. | 135 |
| 5.14. | Representación de las componentes copolar y contrapolar, y la relación entre ambas para el prototipo A. | 135 |
| 5.15. | Esquemático de un parche cuadrado básico adaptado en impedancias mediante transformador en $\lambda/4$. | 138 |
| 5.16. | Layout de una parche cuadrado básico adaptado en impedancia mediante un transformador en $\lambda/4$. | 138 |
| 5.17. | Resultados de la simulación para el prototipo B | 139 |
| 5.18. | Estudio de los campos radiados y la polarización del prototipo B | 139 |
| 5.19. | Esquemático del parche cuadrado con las esquinas truncadas (prototipo C). | 142 |
| 5.20. | Layout del parche cuadrado de esquinas truncadas. | 143 |
| 5.21. | Simulación de los parámetros S del prototipo C | 144 |
| 5.22. | Componentes ortogonales del campo en polarización lineal del prototipo C | 145 |
| 5.23. | Componentes ortogonales del campo en polarización circular del prototipo C | 145 |
| 5.24. | Esquemático de un parche cuadrado microstrip de esquinas truncadas, con adaptación por transformador en $\lambda/4$ | 147 |
| 5.25. | Layout de un parche cuadrado microstrip de esquinas truncadas, con adaptación por transformador en $\lambda/4$ | 148 |
| 5.26. | Resultados de la simulación del layout del prototipo D. | 148 |
| 5.27. | Resultados de Polarización lineal del prototipo D | 150 |
| 5.28. | Resultados de polarización circular del prototipo D | 150 |
| 5.29. | Esquemático del parche del prototipo E. | 152 |
| 5.30. | Esquemático de la alimentación microstrip. | 152 |
| 5.31. | Definición de las capas del layout para el acoplo por abertura. | 153 |
| 5.32. | Layout del prototipo E. | 154 |
| 5.33. | Simulación del prototipo E una vez optimizado | 156 |
| 5.34. | Campos copolar y contrapolar del prototipo E. | 156 |
| 5.35. | Layout de partida del prototipo final. | 158 |
| 5.36. | Prototipo final. Diseño óptimo de la antena. | 160 |
| <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> | | |
| 6.1. | Layout de la antena para ambos sentidos de polarización circular. | 164 |
| 6.2. | Simulación de la magnitud de s_{11} en unidades naturales y en dB. | 165 |
| 6.3. | Valor de la magnitud en dB y en unidades naturales del coeficiente s_{11} . | 166 |
| 6.4. | Sistema que representa el conjunto alimentador-antena. | 166 |
| 6.5. | Representación de $H(f)$ en dB | 167 |
| 6.6. | Representación del coeficiente de onda estacionaria. | 168 |
| 6.7. | Representación en la carta de Smith del coeficiente de reflexión y de la impedancia. | 169 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.8. | Configuración de simulación para el patrón de radiación. | 170 |
| 6.9. | Componentes ortogonales del campo $E_{\phi}(\theta)$ y $E_{\theta}(\theta)$. | 170 |
| 6.10. | Componentes del campo compuestas: campo a derechas, campo a izquierdas y relación axial. | 171 |
| 6.11. | Deterioro de la polarización circular a $\theta=70^{\circ}$ | 172 |
| 6.12. | Diferentes vistas del patrón de radiación tridimensional. | 173 |
| 6.13. | Patrón de radiación en θ para $\phi=0^{\circ}$ (en rojo) y para $\phi=90^{\circ}$ (en verde) | 174 |
| 6.14. | Ganancia y directividad en función del ángulo θ | 175 |
| 6.15. | Detalle de la ganancia y la directividad para la semiesfera superior, y para la semiesfera inferior que define la antena. | 176 |
| 6.16. | Área efectiva en función de θ . | 177 |
| 6.17. | Fotografías del prototipo realizado. (a): Vista del parche, cara superior. (b): Línea de alimentación, cara inferior. (c): Plano de masa con ranura en cruz. | 179 |
| 6.18. | Medida de las pérdidas por retorno sobre el prototipo construido. | 180 |
| 6.19. | Medida de la fase del parámetro s_{11} sobre el prototipo construido. | 180 |
| 6.20. | Medida del coeficiente de onda estacionaria sobre el prototipo construido. | 181 |
| 6.21. | Medida de la impedancia de entrada del prototipo construido. | 182 |

