Comparación entre fórmulas de las Antenas microstrip

Inconsistencias en la formulación

En este documento se analizan las inconsistencias encontradas al analizar la formulación en el diseño de antenas microstrip, proporcionadas por diversos autores.

A continuación iré enumerando la formulación y señalando, lo que en mi opinión, son dichas inconsistencias:

Permitividad efectiva

Balanis dice $$\varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[1 + 12\frac{h}{W}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

Lo, AEH y Kumar dicen $$\varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[1 + 10\frac{h}{W}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

Anchura del patch (W)

Todos los autores fijan W como media longitud de onda en el sustrato con una nueva ε_r de valor itermedio entre la del sustrato (ε_r) y la del aire (1).

Así , según Kumar, $$W = \frac{v_0}{2f\sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}}}$$

aunque Balmaín lo presenta como, $$W = \frac{v_0}{2f}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}}$$ que es lo mismo

Anchura efectiva (W_{ef})

La longitud electrica de W sólo la trata Lo, aunque Balanis también la menciona pero no la formula

Según Lo, $$W_{ef} = \frac{120\pi h}{Z_m\sqrt{\varepsilon_{ef}}}$$ siendo, $$Z_m = \frac{60\pi}{\sqrt{\varepsilon_{ef}}}\frac{1}{\frac{W}{2h} + 0'441 + \frac{1}{\pi}1'451 + \ln\left(\frac{W}{2h}\right) + 0'94}$$

El Radio Engineering Handbook, define

$$W_{ef} = W + 2\Delta W \quad \text{y} \quad \Delta W = h\left(\frac{\ln(4)}{\pi}\right)$$

Kumar formula la determinación de los incrementos tanto de L como de W en el apéndice B de Broadband Microstrip Antennas pero esas fórmulas son demasiado laboriosas, por lo que no he querido profundizar. Además en el caso de W, emplea la dimensión del espesor de la lámina radiante “t” que normalmente se desprecia

Otros autores desprecian el aumento eléctrico que supone el ΔW y solo consideran la longitud física de W

Incremento de L

Balanis dice, $\Delta L = 0'412h \dfrac{\left(\varepsilon_{ef} + 0'3\right)\left(\dfrac{W}{h} + 0'264\right)}{\left(\varepsilon_{ef} - 0'258\right)\left(\dfrac{W}{h} + 0'8\right)}$

Kumar, simplifica; $\Delta L = \dfrac{h}{\sqrt{\varepsilon_r}}$

Lo, dice. $\Delta L = 0'412h \dfrac{\left(\varepsilon_{ef} + 0'3\right)\left(\dfrac{W}{L} + 0'262\right)}{\left(\varepsilon_{ef} - 0'258\right)\left(\dfrac{W}{L} + 0'813\right)}$ que difiere de Balanis. porque emplea en la fracción, L en vez de h.

Conductancia en el borde

Balanis dice (14-8a).- $G_1 = \dfrac{W}{120\lambda_0}\left[1 - \dfrac{1}{24}\left(\dfrac{2\pi h}{\lambda_0}\right)^2\right]$ Lo, coincide con esta fórmula

pero Balmain tambien dice en 14-12: $G_1 = \dfrac{I_1}{120\pi^2}$ siendo

$$I_1 = \frac{1}{120\pi^2}\int_0^{\pi}\left[\frac{\dfrac{\pi W}{\lambda_0}\cos(\theta)}{\cos(\theta)}\right]^2 sen^3(\theta)d\theta = -2 + \cos(x) + xS_i(x) + \frac{sen(x)}{x} \text{ siendo } x = \frac{2\pi W}{\lambda_0}$$

y tambien da sus aproximaciones 14-13

$G_1 = \dfrac{1}{90}\left(\dfrac{w}{\lambda_0}\right)^2$ para $W << \lambda_0$ que coincide con Kumar 12-15 para $W_{ef} \leq 0'35\lambda_0$

Kumar tambien detalla para valores de $0'35\lambda_0 < W_{ef} \leq 2\lambda_0$

$G_1 = \dfrac{W_{ef}}{120\lambda_0} - \dfrac{1}{60\pi^2}$

Estas dos últimas fórmulas para el valor límite de $W = 0'35\lambda_0$ no proporcionan el mismo resultado.

Conductancia mutua

Balmain contempla este valor aunque admite que se puede despreciar frente a G1
Lo calcula por.14-18a

$$G_m = \int_0^{\pi} \left[\frac{\frac{\pi W}{\lambda_0} \cos(\theta)}{\cos(\theta)} \right]^2 sen^3(\theta) J_0\left(\frac{2\pi L}{\lambda_0} sen(\theta) \right) d\theta$$

Muchos autores obvian estos cálculos y emplean solamente G_1

Lo, tambien contempla el valor de Gm y lo calcula como Balanis y además, como Kumar aunque creo que introduce un error en la fórmula de G_1 para $W_{ef} < 0'35\ \lambda_0$ al elevar también 90 al cuadrado

$$G_m = \frac{W_{ef}^{\ 2}}{(90\lambda_0)^2}$$

Kurman comienza el cálculo de G_m a partir de la inversa de la resistencia de radiación del borde Rr.

Proporciona como la fórmula "más exacta",

$$R_r = \frac{w_{ef}^2}{6\left(60 + w_e^2\right)} \text{ siendo } w_{ef} = \frac{2\pi W_{ef}}{\lambda_0}$$

A simple vista se observa que el denominador es mayor que el numerador y que por lo tanto $R_r < 1$ lo cual es ilógico

---

La Zo de una linea vale

$$Z_o = \frac{120\pi}{2.0\sqrt{2.0\pi}\sqrt{\varepsilon_r + 1.0}} \ln\left\{1.0 + \frac{4.0h}{W'}\left[\frac{14.0 + 8.0/\varepsilon_{eff}}{11.0}\frac{4.0h}{W'} + \sqrt{\left(\frac{14.0 + 8.0/\varepsilon_{eff}}{11.0}\right)^2 + \left(\frac{4.0h}{W'}\right)^2 + \frac{1.0 + 1.0/\varepsilon_{eff}}{2.0}\pi^2}\right]\right\}$$

Where $W' = W + \Delta W'$

$$\Delta W' = \Delta W\left(\frac{1.0 + 1.0/\varepsilon_{eff}}{2.0}\right)$$

$$\Delta W = \frac{t}{\pi} \ln\left[\frac{4e}{(t/h)^2 + \left(\frac{1/\pi}{w/t + 1.1}\right)^2}\right]$$

Bibliografía

-Hanbook of Microstrip Antennas Clarricoats y otros
-Using Parametric Simulation To Optimize WiMAX Antenna Performance By Martin Andersson Flomerics, Inc.
Microstrip Antenna Design Hanbook Garg y otros
Broadband Microstrip Antennas Kumar y Ray
Advances in microstrip and Printed Antennas Kay Fong Lee
Microstrip Antenna Technology Carver y otros
Microstrip lines an Esotlines Gupta y otros
Pcb Antenna Theory Nota técnica de Freescale
Antenna handbook Lo y Lee Vol.2
Antenna Theory Balanis
Antenna Engineering Handbook 4 Ed