



**Instituto Tecnológico de Aeronáutica**

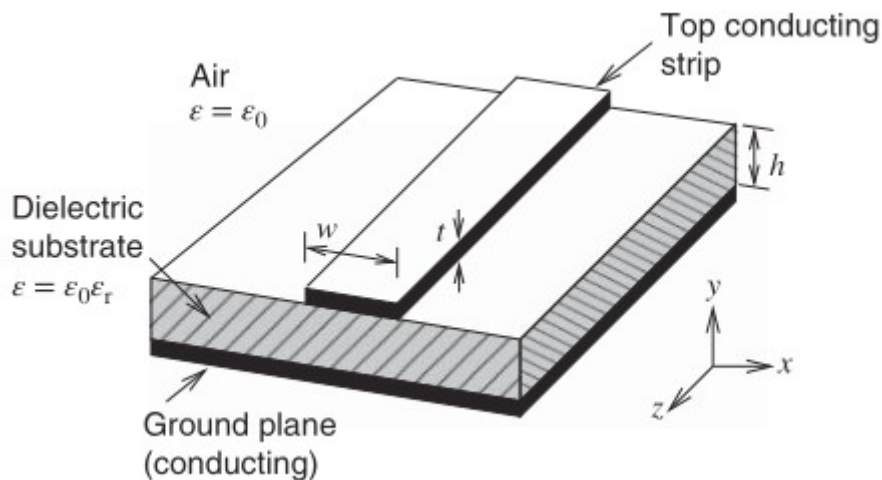
# **Aplicativo web para Análise e Síntese de Microstrip line**

André Marcello Soto Riva Figueira  
Daniel Prince Cerneiro  
Dylan N. Sugimoto  
Gabriel Adriano de Melo

São José dos Campos  
15/06/2017

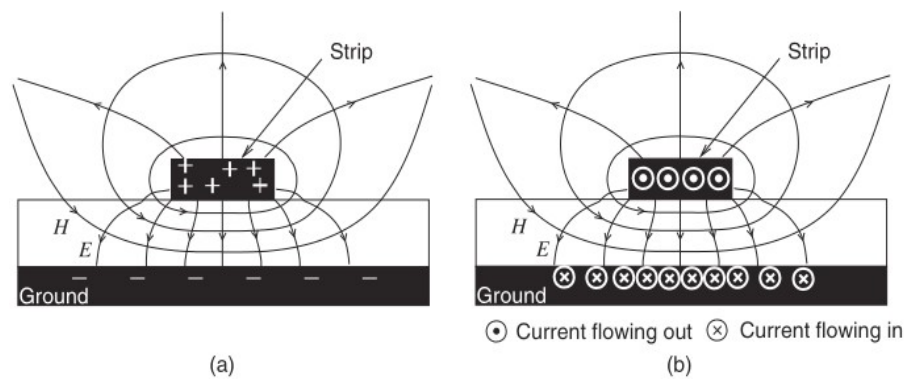
## Resumo da Teoria de Microstrips

A *Microstrip line* é um tipo de linha de transmissão, que é tipicamente utilizada para transmitir sinais na frequência de micro-onda para circuitos microeletrônicos. A sua configuração consiste de um dielétrico (assumido sem perdas) de espessura  $d$  e permissividade  $\epsilon_r \epsilon_0$  no meio entre um plano e uma estreita fita de espessura  $w$ . Em geral assume-se que a região acima da fita é ar ou um dielétrico de baixa permissividade.



**Figura 1 – Diagrama de uma microfita (microstrip).**

Diferente de uma linha de planos paralelos, a baixa espessura  $w$  faz com que o campo elétrico, resultante das cargas contidas em ambas as superfícies da fita, existam tanto dentro do substrato como no ar. O mesmo é válido para o campo magnético que circula em torno do condutor superior. Este campo eletromagnético não pode se propagar puramente como uma onda eletromagnética transversa porque velocidades de propagação irão diferir nos dois meios. Ao invés disso, componentes de  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{H}$  existem no sentido de propagação com as magnitudes estabelecidas para que nos meios ocorra velocidades de fase iguais. Analisar a estrutura neste estado é complicado, mas é razoável, sob algumas circunstâncias, adotar a hipótese de que os campos na direção  $z$  são negligíveis, a chamada *quasi* onda eletromagnética transversal. Nesta aproximação, soluções numéricas calculam as constantes primárias. Em frequências altas, resultados obtidos ainda podem desfrutar da hipótese, todavia correções empíricas nas fórmulas são necessárias.



*Figura 2 – Vista de secção da microstrip: (a) as linhas de campo eléctrico e magnético, e as cargas positivas e negativas; e (b) fluxo de corrente. Os campos eléctrico e magnéticos estão em dois meios, o dieléctrico e o ar.*

Um dos benefícios da *microstrip* é o menor custo financeiro quando comparada às tecnologias tradicionais de guiamento de ondas, bem como ser mais leve e compacta. As desvantagens são uma maior dissipação energética, e a possibilidade de sofrer interferência externa.

Fórmulas estão resumidamente descritas abaixo, para o caso em que se possui a razão entre largura e espessura, um pode obter a impedância característica da fita avaliando primeiramente o valor da permissividade efetiva, que se trata de uma função ponderada das permissividades do ar e do substrato. As fórmulas de síntese, por sua vez, permitem concluir a razão geométrica para uma desejada impedância característica.

**Análise:**

$$Z_0 = \left\{ \begin{array}{l} \frac{60}{\sqrt{(\epsilon_e)}} \cdot \ln\left(\frac{8 \cdot d}{W} + \frac{W}{4 \cdot d}\right), \text{Para } \frac{W}{d} \leq 1 \\ \frac{120 \cdot \pi}{\sqrt{(\epsilon_e)} \cdot \left[\frac{W}{d} + 1.393 + 0.667 \cdot \ln\left(\frac{W}{d} + 1.444\right)\right]}, \text{Para } \frac{W}{d} \geq 1 \end{array} \right. (1)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{W}{d}}} (2)$$

$$\beta = k_0 \cdot \sqrt{\epsilon_r} (3)$$

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_e}} (4)$$

**Síntese:**

$$\frac{W}{d} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{8 \cdot e^A}{e^{2A} - 2}, \text{Para } \frac{W}{d} \leq 2 \\ \frac{2}{\pi} \cdot \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \cdot \epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right], \text{Para } \frac{W}{d} \geq 2 \end{array} \right. (5)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \cdot \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) (6)$$

$$B = \frac{377 \cdot \pi}{2 \cdot Z_0 \cdot \sqrt{\epsilon_r}} (7)$$

$$\alpha_d = \frac{k_0 \cdot \epsilon_r (\epsilon_e - 1) \cdot \tan \delta}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_e} \cdot (\epsilon_r - 1)} (8)$$

## Aplicativo Web

O grupo montou um simples aplicativo web capaz de realizar as operações de análise e síntese desejadas. O código da página pode ser visto no link <https://github.com/Gabruil/ELE12Lab2> e o site que executa o código pode ser acessado pelo link <https://www.gamdev.com.br/ele12/lab2/>.

### Instruções:

Para utilizar a página, basta preencher os valores iniciais centrados no topo e então selecionar a operação desejada nos botões logo abaixo. A página irá mostrar a área de *input* e de *output*. Onde estiver escrito *input* o usuário deve entrar com os valores de entrada desejados e então pressionar o botão calcular (botão verde). Os valores computados serão mostrados na área do *output*.

Dessa forma, é importante que o usuário primeiro selecione a opção de análise ou de síntese e que depois ele clique no botão de calcular. Observa-se que as caixas de input e output mudam de acordo com a escolha de análise ou de síntese, tal como observado na Figura 3.

Lab 2 - ELE-12 - Design e análise de Microfitas

Especifique as entradas abaixo e depois escolha a operação desejada

Constante dielétrica  $\epsilon_r$

Altura do dielétrico  $h$   (mm)

Frequência  $f$   (GHz)

**Input**

Impedância  $Z_0$   ( $\Omega$ )

Comprimento elétrico  $\theta$   (graus)

**Output**

Comprimento  $L$   (mm)

Constante de atenuação no dielétrico  $\alpha_d$

Constante de atenuação no dielétrico  $\alpha_d$

Air  $\epsilon = \epsilon_0$

Dielectric substrate  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$

Top conducting strip

Ground plane (conducting)

Lab 2 - ELE-12 - Design e análise de Microfitas

Especifique as entradas abaixo e depois escolha a operação desejada

Constante dielétrica  $\epsilon_r$

Altura do dielétrico  $h$   (mm)

Frequência  $f$   (GHz)

**Output**

Impedância  $Z_0$   ( $\Omega$ )

Comprimento elétrico  $\theta$   (graus)

**Input**

Comprimento  $L$   (mm)

Constante de atenuação no dielétrico  $\alpha_d$

Constante de atenuação no dielétrico  $\alpha_d$

Air  $\epsilon = \epsilon_0$

Dielectric substrate  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$

Top conducting strip

Ground plane (conducting)

Figura 3 – Comparação de síntese e de análise do aplicativo.

## Descrição do Código

Das linhas 1 à 137 do arquivo output.js em anexo, são implementadas como funções auxiliares todas as fórmulas do formulário de microfitas, como o cálculo de  $Z_0$ ,  $W/d$ , dos parâmetros auxiliares A e B, da constante dielétrica efetiva, da velocidade de fase e constante de propagação da onda. Essas fórmulas serão usadas no decorrer do código para calcular os parâmetros pedidos.

A partir da linha 139, tem-se a descrição do código em si. Das linhas 140 à 145, são inicializados os botões design e analisar, sendo o design a escolha inicial por padrão.

Nas linhas 146 à 163, é feita a descrição da funcionalidade dos botões design e análise. Isto é, no clique de um, deve se desativar o outro, além de inverter os textos “Input” e “Output” para as respectivas variáveis que serão dadas como entrada e saída dependendo da seleção entre design e análise.

A partir da linha 165, o código programado é a funcionalidade do botão calcular. Isto é, faz-se efetivamente o cálculo dos parâmetros pedidos. Entre as linhas 167 e 195 está compreendido o caso do design, em que serão calculados o parâmetro W e L, sendo necessário o cálculo de A, B e da constante dielétrica efetiva como variáveis auxiliares de cálculo. A partir da linha 197, temos o caso da análise, onde será calculado o valor da impedância  $Z_0$  e do comprimento  $\theta$  da linha de microfita, sendo W e L parâmetros dados.

## **Considerações finais**

O presente trabalho é capaz de calcular os principais parâmetros de síntese e de análise de uma microfita. As fórmulas utilizadas nos cálculos são oriundas de aproximações empíricas, o que diminui a precisão dos resultados.

É importante notar que pela aproximação empírica, se um mesmo os atributos de saída de síntese forem utilizados como entrada para análise, o resultado obtido será próximo, porém não exato, com relação às entradas originais de síntese.

Para diminuir os erros em decorrência desse efeito, o algoritmo realiza a síntese e depois uma análise com o resultado da síntese para escolher a fórmula que melhor aproxima a entrada original da síntese, o que o deixa mais robusto.

## **Referências:**

*Engineering Electromagnetics - 8ª ed. - William H. Hayt Jr., John A. Buck.*

*Edwards, T. C. Foundations for Microstrip Circuit Design. Chichester, N.Y.: Wiley Interscience, 1981.*



## Anexo

lab2.html

```
1 <!DOCTYPE html>
2
3 <html>
4
5 <head>
6     <title>Lab2</title>
7     <meta charset="UTF-8">
8     <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
9     <script
src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.1.0/jquery.min.js"></script>
10
11     <script src="math.js" type="text/javascript"></script>
12     <script src="src/plotly-latest.min.js"></script>
13     <script src="codigo.js" type="text/javascript"></script>
14     <script type="text/x-mathjax-config">
15         MathJax.Hub.Config({
16             tex2jax: {inlineMath: [['$', '$'], ['\\(', '\\)']]}
17         });
18     </script>
19
20     <script type="text/javascript" async src="path-to-mathjax/MathJax.js?
config=TeX-AMS_CHTML"></script>
21     <script type="text/javascript" async
22     src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/mathjax/2.7.1/MathJax.js?
config=TeX-MML-AM_CHTML">
23     </script>
24
25     <link rel="stylesheet" href="bootstrap.css">
26     <link rel="stylesheet"
href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/font-awesome/4.7.0/css/font-
awesome.min.css">
27     <link rel="stylesheet" href="estilo.css">
28
29     <link href="https://fonts.googleapis.com/css?family=Ubuntu"
rel="stylesheet">
30     <script src="output.js" type="text/javascript"></script>
31
32
33
34 </head>
35
36
37 <body>
38 <h1> Lab 2 - ELE-12 - Design e análise de Microfitas</h1>
39 <p> Especifique as entradas abaixo e depois escolha a operação desejada:</p>
40 <form id="entradas1" action="">
41     <table class ="entrada">
42         <tr>
43             <td>\$\\text{Constante dielétrica}\\;\\;\\epsilon_r:$</td>
44             <td><input type="number" name="epsilon" step="any" value="7"> <!--+
j <input type="number" name="ImZ0" step="any" value="0">--></td>
45         </tr>
46         <tr>
47             <td>\$\\text{Altura do dielétrico}\\;\\;h:$</td>
48             <td><input type="number" name="altura" step="any" value="10">$(mm)$
</td>
49         </tr>
```

```

50         <tr>
51             <td>\$\\text{Frequência}\\;\\;f:$</td>
52             <td><input type="number" name="freq" step="any" value="1">$(GHz)$
</td>
53         </tr>
54
55     </table>
56 </form>
57
58 <p></p>
59
60
61 <p>
62 <button type="button" class='btn btn-warning' >Design<br><i class="fa fa-
pencil-square-o" aria-hidden="true"></i></button>
63 <button type="button" class="btn btn-info" >Analisar<br><i class="fa fa-
search" aria-hidden="true"></i></button>
64 </p>
65
66 <p><button type="button" class='btn btn-success' >Calcular<br><i class="fa
fa-calculator" aria-hidden="true"></i>
67 </button></p>
68
69
70
71
72
73
74 <div class="modal-body row">
75     <div class="col-md-6">
76         <form id="design_entradas">
77             <table class="entrada">
78                 <th><td colspan="2" id='design_title'></td></th>
79
80                 <tr>
81                     <td>\$\\text{Impedância}\\;\\;Z_0:$</td>
82                     <td><input id='z0' type="number" name="z0" step="any" value="60">$(
\Omega)$ </td>
83                 </tr>
84
85                 <tr>
86                     <td>\$\\text{Comprimento elétrico}\\;\\;\theta:$</td>
87                     <td><input id='theta' type="number" name="theta" step="any"
value="45">$(\text{graus})$ </td>
88                 </tr>
89
90             </table>
91         </form>
92     </div>
93
94     <div class="col-md-6">
95         <form id="analisar_entradas" action="">
96             <table class="entrada">
97
98                 <th> <td colspan="2" id='analisar_title'></td></th>
99
100                 <tr>
101                     <td>\$\\text{Largura}\\;\\;W:$</td>
102                     <td><input id = 'W' type="number" name="largura" step="any"
value="50">$(\text{mm})$</td>
103                 </tr>
104
105                 <tr>
106                     <td>\$\\text{Comprimento}\\;\\;L:$</td>

```

```

107         <td><input id = 'L' type="number" name="comprimento" step="any"
value="10">$(mm)$ </td>
108     </tr>
109
110 </table>
111 </form>
112 </div>
113 </div>
114
115 <form id="alphad" action="">
116     <table class ="entrada">
117         <tr>
118             <td>${text{Constante de atenuação no dielétrico}}\;\;\alpha_d:${</td>
119                 <th>
120                     <td colspan="2" id='alphad_value'></td></th>
121
122             </tr>
123
124         </table>
125 </form>
126
127     
128
129
130
131
132 </body>
133 </html>
134

```

#### output.js

```

1 /**
2  * @function [beta] Calcula o coeficiente dieletrico efetivo
3  * @constant {number} k0 numero de onda padrao
4  * @param {number} er constante dieletrica relativa
5  * @constant {number} c velocidade da luz
6  * @param {number} f frequencia
7  * @returns constante de propagacao
8  */
9 function beta(f, er) {
10     c = 3000000000;
11     k0 = 2 * Math.pi * f / c;
12     return k0 * Math.sqrt(er);
13 }
14
15 /**
16  * @function [vp] Calcula a velocidade de fase em metros por segundo
17  * @param {number} ee coeficiente dieletrico efetivo
18  * @constant {number} c velocidade da luz
19  * @returns velocidade de fase
20  */
21 function vp(ee) {
22     c = 3000000000;
23     return c / Math.sqrt(ee);
24 }
25
26 /**
27  * Calcula o coeficiente dieletrico efetivo
28  * @param {number} w espessura da fita condutora
29  * @param {number} d espessura do dieletrico

```

```

30 * @param {number} er constante dieletrica relativa
31 * @returns coeficiente dieletrico efetivo
32 */
33 function cde(er, d, w) {
34
35     return (er + 1) / 2 + ((er - 1) / 2) * (1 / Math.sqrt(1 + 12 * d / w));
36 }
37
38 /**
39 * Calcula a impedancia intrinseca
40 * @param {number} ee dieletrico efetivo
41 * @param {number} w espessura da fita condutora
42 * @param {number} d espessura do dieletrico
43 * @returns {number} impedancia intrinseca ohm
44 */
45 function Z0(d, w, ee) {
46
47     var wd = w / d;
48     if (wd <= 1) {
49
50         z0 = 60 / Math.sqrt(ee) * Math.log(8 * d / w + w / (4 * d));
51     }
52     else {
53
54         z0 = 120 * Math.PI / (Math.sqrt(ee) * (w / d + 1.393 + 0.667 *
Math.log(w / d + 1.444)));
55     }
56     return z0;
57 }
58 }
59
60
61 /**
62 * Calcula a razao w por d
63 * @param {number} er dieletrico relativo
64 * @param {number} b constante numerica
65 * @param {number} a constante numerica
66 * @returns {number} wd razao da largura da fita pela espessura do
dieletrico
67 */
68 function wd(a, b, er, d, Z) {
69
70     var resultado, resultado2, erro, erro2;
71
72     resultado = 2 / Math.PI * (b - 1 - Math.log(2 * b - 1) + (er - 1) / (2 *
er) * (Math.log(b - 1) + 0.39 - 0.61 / er));
73
74     resultado2 = 8 * Math.exp(a) / (Math.exp(2 * a) - 2);
75
76     var ee;
77     ee = cde(er, d, d * resultado);
78     erro = Math.pow(Z - Z0(d, d * resultado, ee), 2);
79     ee = cde(er, d, d * resultado2);
80     erro2 = Math.pow(Z - Z0(d, d * resultado2, ee), 2);
81
82     if ((erro2 < erro || resultado < 0) && resultado2 > 0) {
83         resultado = resultado2;
84     }
85     return resultado;
86 }
87
88 /**
89 * Calcula a constante numerica A
90 * @param {number} er dieletrico relativo

```

```

91  * @param {number} z0 impedancia intrinseca
92  * @returns {number} coeficiente numerico
93  */
94  function A(z0,er){
95
96      return (z0/60)*Math.sqrt((er+1)/2)+ ((er-1)/(er+1))*(0.23+0.11/er);
97  }
98
99  /**
100  * Calcula a constante numerica B
101  * @param {number} er dieletrico relativo
102  * @param {number} z0 impedancia instrinseca
103  * @returns {number} coeficiente numerico
104  */
105  function B(z0,er){
106
107      return 377*Math.PI/(2*z0*Math.sqrt(er));
108  }
109  }
110
111
112  /**
113  * Calcula a atenuacao no dieletrico
114  * @param {number} k0 numero de onda padrao
115  * @param {number} tdelta tangente de perdas
116  * @param {number} ee dieletrico efetivo
117  * @param {number} er dieletrico relativo
118  * @returns {number} atenuacao no dieletrico Np/m
119  */
120  function alfad(k0, er, ee, tdelta) {
121
122      return k0 * er * (ee - 1) * tdelta / (2 * Math.sqrt(ee) * (er - 1));
123  }
124  }
125  /**
126  *
127  * @param {number} w largura da fita condutora
128  * @param {number} z0 impedancia intrinseca
129  * @param {number} rs resistencia superficial ou de folha
130  * @returns {number} atenuacao no condutor Np/m
131  */
132  function alfac(rs, z0, w) {
133
134      return rs / (z0 * w);
135  }
136  }
137
138
139  $(document).ready(function () {
140
141      var audio1 = new Audio('anvil.mp3');
142      var audio2 = new Audio('paper.mp3');
143      var design = true;
144      var analisar = false;
145
146      $(".btn-warning").on("click", function(){
147          design = true;
148          analisar = false;
149          $(this).addClass("pressed")
150          $(".btn-info").removeClass("pressed")
151          $('#design_title').text('Input')
152          $('#analisar_title').text('Output')
153
154      });

```

```

155
156 $(".btn-info").on("click", function(){
157     design = false;
158     analisar = true;
159     $(this).addClass("pressed")
160     $(".btn-warning").removeClass("pressed")
161     $('#design_title').text('Output')
162     $('#analisar_title').text('Input')
163 });
164
165 $(".btn-success").on("click", function () {
166
167     if(design)
168     {
169         var $inputs = $('#entradas1 :input');
170         var values1 = {};
171         $inputs.each(function() {
172             values1[this.name] = $(this).val();
173         });
174
175         var $inputs = $('#design_entradas :input');
176         var values2 = {};
177         $inputs.each(function() {
178             values2[this.name] = $(this).val();
179         });
180
181         var epsilon    = values1['epsilon'];
182         var altura     = values1['altura'];
183         var frequencia = values1['freq'];
184         var z0         = values2['z0'];
185         var theta      = values2['theta'];
186
187         var a = A(z0,epsilon);
188         var b = B(z0,epsilon);
189         var W = altura*wd(a,b,epsilon, altura, z0);
190         var cd_eff = cde(epsilon,altura,W);
191         var L = (theta / 360) * (300 / frequencia) / Math.sqrt(cd_eff);
192         $('#W').val(W);
193         $('#L').val(L);
194         audio1.play();
195     }
196
197     else if(analisar)
198     {
199         var $inputs = $('#entradas1 :input');
200         var values1 = {};
201         $inputs.each(function() {
202             values1[this.name] = $(this).val();
203         });
204
205         var $inputs = $('#analisar_entradas :input');
206         var values2 = {};
207         $inputs.each(function() {
208             values2[this.name] = $(this).val();
209         });
210
211         var epsilon    = values1['epsilon'];
212         var altura     = values1['altura'];
213         var frequencia = values1['freq'];
214         var W          = values2['largura'];
215         var L          = values2['comprimento'];
216         var cd_eff = cde(epsilon,altura,W);
217         var theta   = (1.2*L)*(frequencia)*Math.sqrt(cd_eff);
218         var z0      = Z0(altura,W,cd_eff);

```

```
219         $('#z0').val(z0);
220         $('#theta').val(theta);
221
222
223         audio2.play();
224     }
225
226
227     });
228
229 });
```