

## 8.

# Otimização Numérica (Método do Gradiente) de Transformadores através do Modelo de Impedância combinado com o Modelo de Reatância Concentrada

## 8.1

### Introdução

Nos Capítulos 6 e 7 introduzimos o modelo de reatância concentrada para representar os efeitos causados pelas descontinuidades de estrutura física e estrutura de campo eletromagnético no interior dos guias de onda.

Como observado no Capítulo 7, a precisão do modelo de reatância concentrada se equipara ao encontrado em métodos numéricos mais rigorosos, tal como FDTD, porém, com a vantagem de consumir muito menos recurso computacional.

Este novo cenário nos leva a considerar a possibilidade de aplicarmos técnicas de otimização numérica para otimizar o desempenho do transformador, tomando-se como ponto de partida a síntese inicial obtida a partir do modelo de impedância simplificado.

A escolha recaiu sobre o Método do Gradiente, e sua parametrização e efetividade de resultados assim como sua eficiência no consumo de recursos computacionais são detalhados na seqüência.

## 8.2

### Método de Otimização “Gradient Descent”

“Gradient Descent” ou “Steepest Descent” é um dos métodos mais antigos, sendo proposto em 1847 por Cauchy e é o método mais simples dentre a família dos métodos de “otimização por gradiente” (Arenales,2008 e Fletcher,1986).

É um algoritmo de otimização de primeira ordem, onde a escolha da direção do mínimo da função ‘f’ é a direção oposta ao gradiente:

$$\nabla f(x_i) \quad (8.1)$$

O processo de busca começa em um ponto arbitrário  $x_0$  e caminha sobre a linha determinada pelo gradiente, até estar próxima suficientemente da solução. Em outras palavras, o processo iterativo pode ser descrito como:

$$x_{k+1} = x_k - \alpha_k \nabla f(x_k) \quad (8.2)$$

A cada passo do processo iterativo, o valor de  $\alpha$  pode ser alterado (aumentado) para permitir uma convergência mais rápida, certificando-se que a função converge a cada iteração; caso contrário, o valor de  $\alpha$  deve ser reduzido para que o processo se estabilize.

Com os resultados apresentados na Seção 7.2 e Seção 7.3, onde a precisão do método varacional se mostrou confiável para a sua utilização na análise de transformadores em guia de onda, abre-se então a possibilidade de se concluir a síntese desses transformadores através de processos numéricos de otimização.

A idéia se resume a tomar como parâmetros iniciais do processo de otimização os valores iniciais das seções do transformador, considerando-se apenas o modelo de impedância de guia conforme a Seção 3.2.

Uma vez encontrados os valores iniciais, uma análise conforme apresentada na Seção 7 é realizada para verificação da condição de desempenho da primeira síntese do transformador. Após esta verificação, uma rotina de otimização pelo Método do Gradiente é aplicado sobre as diversas variáveis da estrutura, como as larguras, as alturas e os comprimentos, de forma a cumprir com um determinado objetivo.

A função objetivo que o processo de otimização do programa TRAFOWG considera é tomada para um valor mínimo de taxa de onda estacionária, amortecida por um fator relacionado com ao desvio médio quadrático da TOE na faixa de análise:

$$f_{otimização} = (TOE_m - 1) + \sigma^2 \quad (8.3)$$

Onde:  $TOE_m$ : taxa de onda estacionária média na banda de análise.

$\sigma$ : desvio quadrático da TOE na banda de análise.

Os critérios de convergência para o processo de otimização foram assumidos como:

- número de interações;
- precisão dimensional (< que 0,01 mm);
- fator multiplicativo  $\alpha$  do método do gradiente (< 10.E-12).

Os transformadores binomiais sintetizados na Seção 5.2 foram otimizados no processo descrito acima.

Estes mesmos transformadores foram também otimizados no aplicativo CST - Microwave Studio v.5.2, pelo método “Quase-Newton” para se aquilatar a eficiência do método proposto. A faixa de variação das variáveis no CST foi estabelecida em 3% com 100 “samples” neste intervalo.

### 8.3

#### Síntese dos Transformadores Plano H e Plano E pelo método de Otimização

Segue na Tabela 6 os resultados obtidos para a geometria do transformador e o tempo computacional despendido nas duas técnicas:

**Tabela 6 – Tabela comparativa entre a otimização feita pelo programa TRAFOWG e por FDTD.**

Transformadores Plano H Otimizados				
		Valores Iniciais	Otimizado via TRAFOWG	Otimizado via FDTD
Seção 1	a (mm)	38,811	38,42	38,438
	b (mm)	15,799	15,799	15,799
	l (mm)	15,453	15,921	15,538
Seção 2	a (mm)	36,051	35,907	36,03
	b (mm)	15,799	15,799	15,799
	l (mm)	16,296	16,092	16,413
Número Interações			83	159
Tempo Processamento (segundos)			~ 1	6152

Os resultados de perda de retorno da situação inicial, e para as duas geometrias sintetizadas estão detalhados na Figura 37 e na Tabela 6.

Tabela 7 – Tabela comparativa da otimização para transformador Plano H.

Freq.	trafo binomial plano H		
	Não Otimiz.	otimizado	
(GHz)	S11 (dB)	Otimizado Imp+Feat (dB)	Otimizado FDTD (dB)
5,3	-35,8	-39,5	-44,0
5,4	-39,0	-44,2	-54,0
5,5	-42,5	-50,9	-58,0
5,6	-46,4	-66,6	-49,3
5,7	-50,8	-57,9	-46,0
5,8	-54,2	-52,4	-44,4
5,9	-54,1	-50,2	-43,6
6,0	-52,4	-49,3	-43,4
6,1	-51,0	-49,3	-43,5
6,2	-50,1	-49,8	-44,0
6,3	-49,5	-51,0	-44,7
6,4	-49,0	-52,9	-45,8
6,5	-48,6	-55,9	-47,2
6,6	-48,1	-61,6	-49,1
6,7	-47,5	-91,3	-51,6
6,8	-46,8	-61,0	-54,7
6,9	-46,0	-54,9	-57,1
7,0	-45,1	-51,2	-55,6
7,1	-44,3	-48,7	-52,3

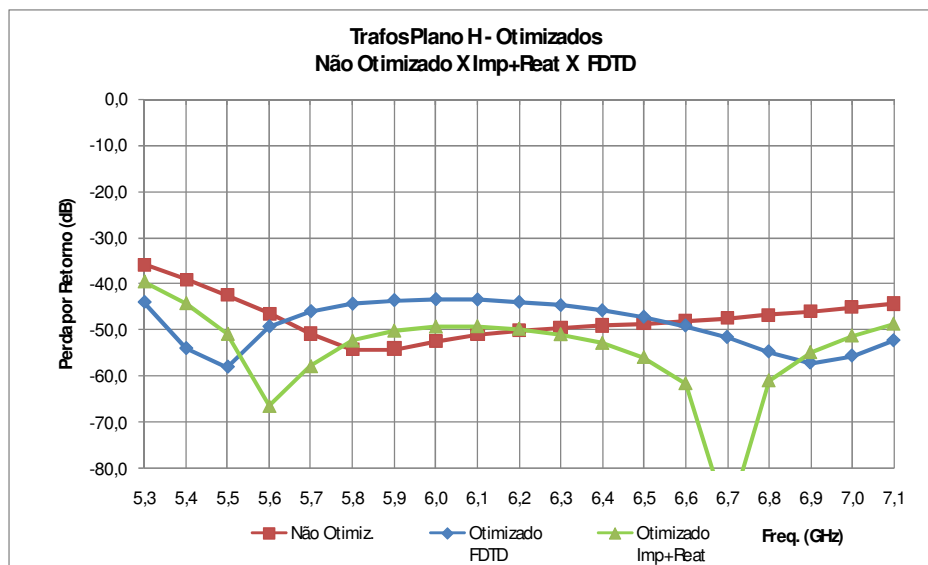
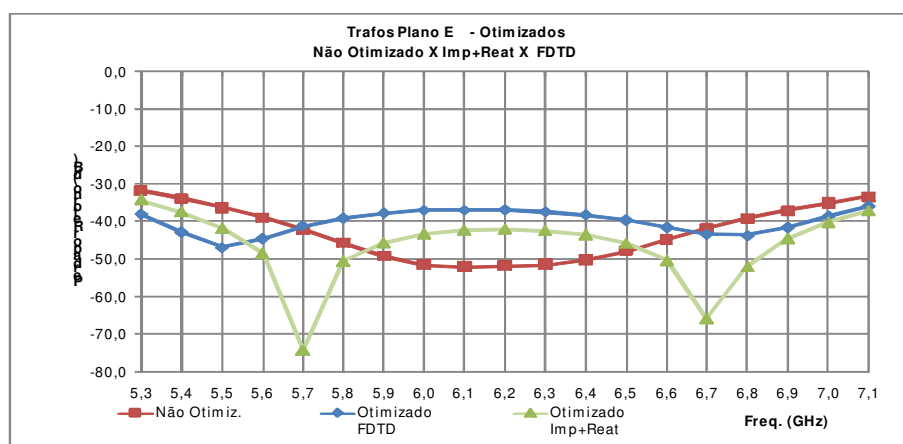


Figura 37 – Comparação de desempenho entre transformadores plano H, antes e após otimização.

Similarmente, um processo de otimização foi aplicado para o transformador binomial no Plano E sintetizado na Seção 5.4 com os resultados a seguir:

Tabela 8 – Tabela comparativa da otimização para transformador Plano E.

Transformadores Plano E Otimizados				
		Valores iniciais	Otimizado via TRAFOWG	Otimizado via FDTD
Seção 1	a (mm)	34,849	34,849	34,849
	b (mm)	18,991	18,91	19,013
	l (mm)	16,784	16,923	17,286
Seção 2	a (mm)	34,849	34,849	34,849
	b (mm)	16,798	16,864	17,07
	l (mm)	16,784	16,58	17,178
Número Interações			189	71
Tempo Processamento (segundos)			~ 2	3319



**Figura 38 - Comparação de desempenho entre transformadores plano E, antes e após otimização.**

Dos resultados da Tabela 6 e Tabela 8, pode-se notar que o método de otimização conforme proposto - método do gradiente combinado com modelos de elementos concentrados, embora seja simples, guarda boa concordância com modelos mais precisos, assim como se apresenta mais eficiente para o propósito de síntese e transformadores em guia de onda retangulares.

## **Parte II**

### **Transformadores em Guia – Caso Geral**