

## 6 Comentários finais e conclusões.

### 6.1 Observações Finais

A presente tese introduz no capítulo 2 a formulação matemática e as condições de contorno dos dispositivos capazes de propagar o campo eletromagnético em substratos de altas constantes dielétricas e altas perdas por meio de ondas guiadas. Vários guias de onda são descritos destacando-se o NRD e o SIWG. Ainda neste capítulo uma nova formulação foi obtida sendo capaz de definir com maior precisão a frequência de corte e dimensionar os protótipos avaliando seu comportamento. Esta formulação foi denominada de "método da equivalência SIWG/RWG"

No capítulo 3 um conjunto de simulações utilizando ferramentas computacionais Eletromagnéticas tridimensionais [18,19] e de circuitos [17] no domínio da frequência permite a avaliação da perda de inserção e da perda de retorno destes dispositivos. Protótipos de guias SIWG e filtros utilizando as propriedades do substrato FR-4 foram realizados apesar das altas perdas envolvidas. Os resultados obtidos no FR-4 atingiram a frequência de 20 GHz e permitiram a transmissão de sinais digitais nas taxas de 10 Gbits/s e constituem portanto uma das contribuições originais deste trabalho de tese. Outra contribuição importante foi o desenvolvimento de um modelo pouco reportado na literatura para o projeto de filtros em FR-4 por meio de ondas guiadas, verificados por meio de protótipos.

O método da equivalência SIWG/RWG foi também utilizado no projeto e simulação de configurações SIWG em substratos cerâmicos com constante dielétrica  $\epsilon_r=80$ . As simulações eletromagnéticas indicaram o funcionamento correto deste dispositivo. A grande vantagem deste projeto é a redução dramática das dimensões envolvidas. A realização destes protótipos ainda não foi concluída devido a grande dificuldade encontrada na utilização da técnica de furação a laser com precisão em cerâmica, pois o material resiste e se torna quebradiço a feixes de lasers de alta potência.

O capítulo 4 descreve os problemas de integração provocados por retardos em circuitos VLSI, assim como as limitações das conexões em microlinhas acima de 50 GHz e destaca a complexidade da paralelização dos fluxos digitais de transmissão. Como alternativa a essas penalidades, os S-SIWG (Semiconductors Substrate Integrated Waveguide) utilizando os substratos de SiGe e GaAs são propostos. Várias simulações são então realizadas utilizando as ferramentas computacionais ADS [17] e HFSS [19] considerando estes dispositivos associados ao formato de modulação QAM. Os resultados obtidos demonstram claramente as propriedades dos S-SIWG como meios propagantes capazes de ativar conexões de sinais digitais acima de 50 GHz e também no domínio do Terahertz, evitando a "paralelização" dos fluxos digitais NRZ e RZ. Estes resultados constituem contribuição original não reportada na literatura.

Finalmente no capítulo 5, são realizados protótipos utilizando o substrato R6010 com constante dielétrica  $\epsilon_r=10$ , valor próximo às constantes dielétricas do SiGe e do GaAs. O método da equivalência SIWG / RWG associado a simulações é apresentado indicando a perda de inserção e de retorno adequadas na banda de 15-60 GHz. Os dois protótipos realizados e medidos até a frequência de 40GHz indicam as propriedades de guiamento dos SIWG realizados e também o acerto do método de projeto.

Um protótipo em SiGe foi simulado e está em fase de realização. Os métodos utilizados até o presente indicam dificuldades de metalização das vias que formam as paredes do guia e da camada superior e inferior com as transições de linhas planares, pois a simples conectorização provoca a ruptura das trilhas de acesso no S-SIWG em SiGe. Estas dificuldades poderão ser superadas por meio de futuros contatos com laboratórios no exterior.

## 6.2 Principais Resultados Obtidos

Os principais resultados obtidos com a realização da presente tese são listados abaixo e evidenciam-se sua originalidade uma vez que não foi verificado na literatura técnico científica ou comercial trabalhos idênticos.

- 1- Protótipos de guias de onda e filtros na tecnologia SIWG utilizando o substrato FR-4 até 20 GHz e em sinais digitais de 10 Gbits/s;
- 2- Nova formulação por meio do "Método da equivalência RWG/SIWG";

3- Novo Método para projetos de Filtros Passa-Faixa de guias de ondas.

4 - Utilização de Guias S-SIWG como conexões inter chips e entre chips capazes de transportar Fluxos digitais de altas taxas utilizando formatos de modulação 16QAM para as taxas de 100 Gbit/s associadas ao padrão IEEE 802.3ba. Estendendo-se a aplicações na faixa de (0.3 - 1.5) Terahertz.

5- Utilização dos guias S-SIWG como alternativa a paralelização dos fluxos digitais para a redução da complexidade das conexões que utilizam barramentos em microlinhas acima de 50 GHz.

### **6.3 Trabalhos Futuros.**

São indicados abaixo alguns trabalhos que já estão em andamento ou serão iniciados, a saber:

- 1- Desenvolvimento e realização de Técnicas de medição no domínio do Terahertz;
- 2- Supressão mais acentuada dos modos superiores para o desenvolvimento de configurações S-SIWG com adaptação e casamento de impedância de onda do modo dominante com a referencia de  $50\Omega$ .
- 3- Realização em SiGe dos protótipos já simulados até 60 GHz através de colaboração internacional.
- 4- Desenvolvimento de moduladores QAM no domínio eletrônico.