

Aperfeiçoamento do ganho de uma antena antipodal vivaldi UWB em sistemas de radar para visualização de objetos através de parede

Héctor Dave Orrillo Ascama
 Sergio Tavares
 Sergio Takeo Kofuji
 Laboratório de Sistemas Integráveis
 Universidade de São Paulo
 São Paulo, Brasil
 {Hector,Tavares.st, kofuji}@pad.lsi.usp.br

Abstract— Este trabalho apresenta uma estrutura modificada de uma antena antipodal vivaldi de Banda Ultra Larga - UWB, visando aumentar o ganho, diretividade e melhora da relação *Front to Back* (F/B). Estas melhorias são conseguidas através do uso da técnica de corrugação nas bordas da antena. Os parâmetros analisados e aperfeiçoados neste trabalho são importantes em Radares UWB para visualização de objetos através de parede - *See Through Wall* (STW). A tendência atual na fabricação de antenas utilizadas em Radares UWB é a miniaturização sem que isto signifique uma diminuição radical do ganho. A antena proposta é de fácil fabricação e de baixo custo, funciona na faixa UWB, mas são nas altas frequências (9 - 16 GHz) que apresenta bom ganho.

Palavras-chave; Banda ultra larga; antena; radar.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia de Banda Ultra Larga se caracteriza por ter um espectro mínimo de energia uniformemente distribuído na faixa de giga hertz. Os sistemas de transmissão UWB enviam milhões de pulsos por segundo através de um espectro de frequência muito extenso, com uma largura de banda de 3,1 até 10,6 GHz. A tecnologia possui um espectro de frequência que ocupa uma largura de banda maior do que 20% da frequência central, ou uma largura de banda de pelo menos 500 MHz para uma frequência central de 1 GHz.

Comparando com outros sistemas de comunicação, os pulsos de Banda ultra larga distribuem a energia uniformemente em uma faixa muito ampla de frequências com a vantagem de que os sinais parecem com ruído branco (ver figura 1).

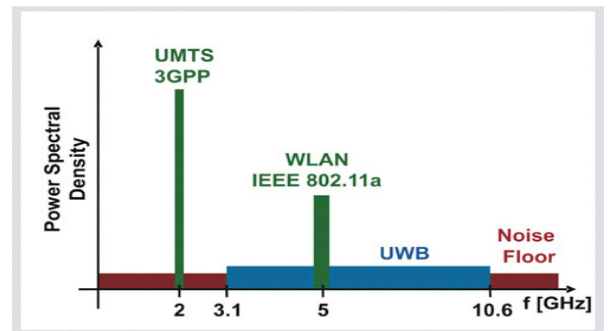


Figura 1. Comparação das tecnologias de Banda Ultra Larga [1]

Para transmissões UWB, utilizam-se antenas cujas características dependem diretamente do tipo de aplicação projetada, como por exemplo, sistemas de comunicação sem fio de alta velocidade, sistemas de imagens de segurança de alto desempenho, Radar UWB, UWB para visualização de objetos através de parede - *See Through Wall* (STW). [2].

Radares através de parede podem utilizar dois tipos de sinais: UWB e Doppler [3]. Este último só pode detectar alvos móveis, enquanto UWB pode detectar alvos móveis e estáticos, com alta resolução espacial.

A característica principal do sinal que transmite a antena do radar UWB em uma aplicação STW deve ser de banda ultra larga para que os objetos que estão atrás de uma parede sejam nitidamente visualizados. Para que se consiga uma alta resolução, a banda ultra larga deve estar na faixa de GHz [4].

As antenas em um sistema de Radar UWB para STW, devem satisfazer as seguintes características:

1. Perda de retorno menor que -10 dB.
2. Alto ganho para poder atravessar a parede.
3. Diagrama de Radiação direcional.

As características físicas indispensáveis para antenas transmissoras e receptoras utilizadas em aplicações STW devem ser: estrutura planar e compacta e dimensões mínimas para que o sistema de radar seja o mais portátil possível [5].

Basicamente, a antena UWB a ser utilizada deve possuir as seguintes propriedades em todo o espectro de banda ultra larga: fase linear, baixa dispersão e atraso de grupo $VSWR \leq 2$.

A fase linear e baixa dispersão permitem a obtenção de baixos valores de *Group Delay*, o qual é necessário para a transmissão e recepção de um pulso UWB com distorção mínima. Estes requisitos são necessários para análise dos sinais nas aplicações de detecção de objetos.

$VSWR \leq 2$ representa uma correta adequação de impedância em toda a largura de banda, casando ao menos o 90 % do total da energia irradiada [6].

Entre as antenas UWB, o modelo Vivaldi merece especial atenção para aplicações STW. Desde que Gibson [7] no ano 1979 construiu a antena Vivaldi original, esta tem sido modificada ao passar dos anos para aperfeiçoar o desempenho.

A corrugação da estrutura física foi proposta por Sugawara [8] para antenas TSA e por H. Wang [9] em antenas cônicas. Outras estruturas, como a *antena antipodal exponencial tapered slot* - AETSA [10] e a antena dual elliptically tapered antipodal slot [11] tem sido propostas para esta emergente tecnologia.

Com a motivação encontrada nas pesquisas feitas pelos grupos de pesquisa nesta área, este trabalho, apresenta a modificação da estrutura de uma antena antipodal Vivaldi UWB, com o objetivo de aumentar o ganho, diretividade e melhora da relação Front to Back (F/B). Tal objetivo se conseguiu através do uso da técnica de corrugação o qual é feito nas bordas da antena.

A organização do trabalho é a seguinte: a seção 2 descreve o desenho da antena proposta, assim como também se apresenta a metodologia utilizada; a seção 3 mostra os resultados das simulações. As principais conclusões estão na seção 4 e na seção 5 são listadas as referências bibliográficas.

II. DESENHO DA ANTENA UWB DE ALTO GANHO

A. Materiais utilizados

1) Software para otimizar a antena

Existem muitas estruturas complexas de antenas UWB. Para fabricar estas estruturas existem modelos avançados que usam materiais elétricos incomuns para aprimorar o desempenho, como por exemplo, o *Electromagnetic Bandgap* (EBG) e o *Artificial Electromagnetic Conductor* (AMC). Por estas razões, o projeto de antenas UWB, por simulação eletromagnética, ou experimentalmente, se torna caro, demorado e em alguns casos impossível.

Será simulada via simulação eletromagnética a antena tipo antipodal Vivaldi com estrutura corrugada utilizando o software CST [18].

B. Métodos Utilizados

1) Estrutura da Antena

A Figura 2, apresenta a geometria da antena antipodal Vivaldi UWB; mostra-se os planos de irradiação, linha de deslocamento paralelo, plano terra e o Microstrip – linha de alimentação da antena.

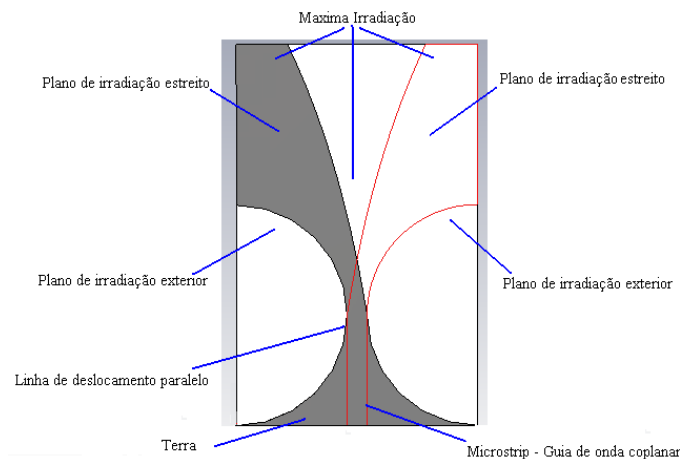


Figura 2. Geometria da antena Antipodal Vivaldi UWB

As dimensões da antena antipodal Vivaldi são as seguintes:

Comprimento	250 mm
Largura	134 mm
Espessura	0.75 mm

O material selecionado para o substrato é o Rogers RO3003 [13]; este material é utilizado na fabricação de antenas do tipo Patch para altas frequências, apresentando boa estabilidade da constante dielétrica apesar da mudança de temperatura. Para nosso trabalho o valor da constante escolhida foi de 4,5 e o valor do *loss tangent* de 0,0013.

2) Técnica de Corrugação

A técnica de corrugação consiste em aberturas nas bordas dos planos de irradiação, desta maneira melhora-se a relação *Front to Back* - F/B da antena, condição muito importante nas aplicações STW [14]. O F/B é a relação da potência do ganho entre a parte frontal e posterior de uma antena direcional, ou seja o ganho numa direção específica, por exemplo, no plano do azimute, normalmente o máximo ganho, comparado com o ganho na direção de 180 ° do azimute contido no plano. O F/B é expresso em *dB*.

A técnica melhora o F/B porque altera a fase das correntes e muda a direção do campo elétrico nas bordas do substrato.

A Figura 3, lista os nomes e as respectivas dimensões da antena com estrutura corrugada.

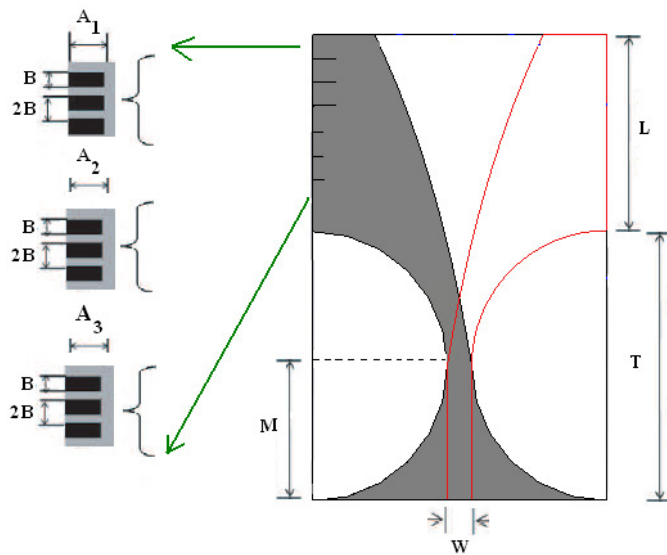


Figura 3. Parametrização da antena Antipodal Vivaldi UWB com estrutura corrugada

- A_1 = Comprimento da abertura 1
- A_2 = Comprimento da abertura 2
- A_3 = Comprimento da abertura 3
- B = Largura da abertura
- L = Largura do plano de irradiação
- W = Largura da linha de alimentação
- M = Comprimento da linha de alimentação
- T = Eixo da Elipse

A continuação se descreve com mais detalhe a técnica de corrugação nos planos de irradiação da antena Antipodal Vivaldi UWB.

3) Antena corrugada para 2 valores de A

A corrugação consiste em um conjunto de aberturas periodicamente separadas, em nosso caso pelo valor B (ver Figura 3).

Na Figura 4, mostra-se o padrão de irradiação em 4 GHz para a antena sem corrugação, ou seja $A_1 = A_2 = A_3 = 0$ mm, e o padrão de irradiação em 4 GHz com corrugação para 2 valores de A ($A_1 = 7$ mm, $A_2 = 6$ mm, $A_3 = 0$ mm) e $B = 1$ mm.

Neste caso, observa-se a melhora do padrão de irradiação e do ganho para frequências baixas entre 3 e 4 GHz. A magnitude do lóbulo principal é de 9,8 dB e 9,3 dB para a antena sem corrugação.

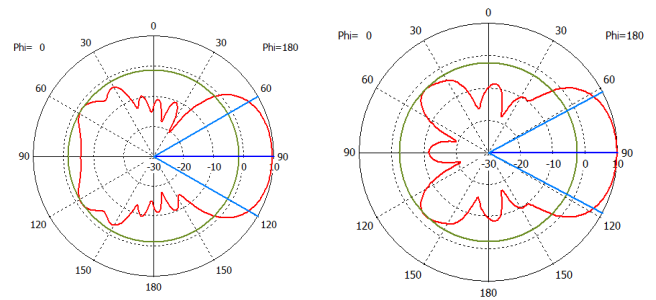


Figura 4. (esquerda) Padrão de irradiação da antena sem corrugação. (direita) Padrão de irradiação da antena com dois valores de A

4) Antena corrugada para 3 valores de A

Nesta seção, com o objetivo de encontrar o melhor padrão de irradiação se avalia a corrugação do plano de irradiação para três valores de A (A_1, A_2 e A_3).

A figura 3, mostra três valores para A:

- $A_1 = 7$ mm
- $A_2 = 6$ mm
- $A_3 = 5$ mm

Com esta corrugação a antena modificada apresenta um alto ganho em altas frequências (ver figura 5).

Na tabela 1, mostra-se a relação F/B da antena na frequência de 14 GHz.

TABLE I. RELAÇÃO F/B EM 14 GHz

Valores de A (mm)	F/B (dB)
$A_1 = A_2 = A_3 = 0$	19.388
$A_1 = 7, A_2 = 6$	23.500
$A_1 = 7, A_2 = 6, A_3 = 5$	28.900

A relação F/B da antena se incrementa para 3 valores de A no caso de 28,9 dB, enquanto a relação F/B de uma antena Vivaldi sem corrugação é de 19,388. Nas aplicações STW é importante evitar interferências, por tanto a melhora da relação F/B é indispensável.

III. RESULTADOS

A. Perda de retorno

A Figura 5, mostra a simulação do parâmetro S_{11} no domínio da frequência. O valor da perda de retorno apresentada pela antena é menor que -12 dB sobre a faixa de 2 até 18 GHz, o que é compatível com os requisitos para uma antena UWB [15].

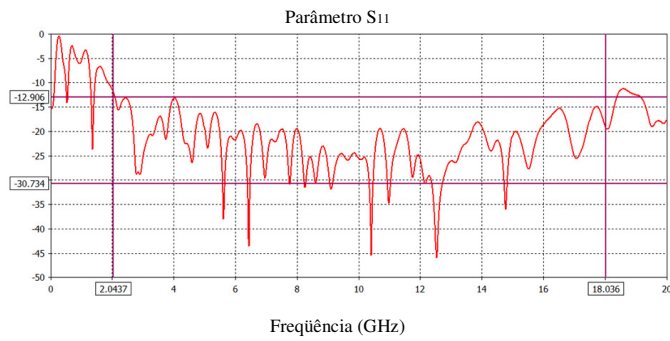


Figura 5. Perda de Retorno (S11) vs Freqüência

B. Ganho

A antena mostra uma melhora no ganho em toda a faixa UWB, mas é na faixa de freqüências altas de 9 GHz até 17 GHz que apresenta alto ganho. Nas freqüências de 14, 15 e 16 GHz o ganho da antena é constante com valores de 13.84, 13.62 e 12.97 dBi respectivamente. Ver figura 6.

Para aplicações STW, é necessário que a antena tenha um ganho significativamente alto [5].

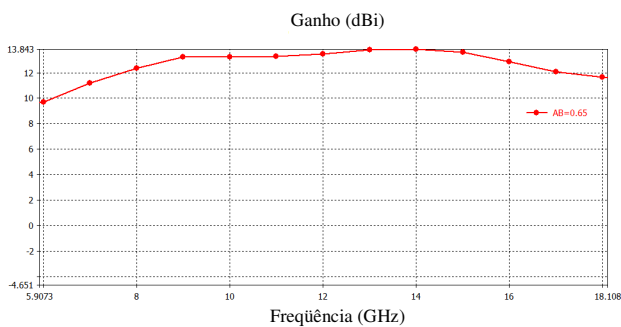


Figura 6. Ganho vs Freqüência

C. Diagrama de Radiação

A Figura 7, apresenta o padrão de irradiação da antena antipodal Vivaldi UWB nas freqüências de 14,15 e 16 GHz; mostra-se que existe simetria nos padrões de irradiação e as direções dos lóbulos principais das freqüências analisadas ficam sempre direcionadas no eixo x - esta característica é muito importante pois aplicações STW precisam de estabilidade nos seus diagramas de irradiação e diretividade sobre toda a banda de funcionamento da antena.

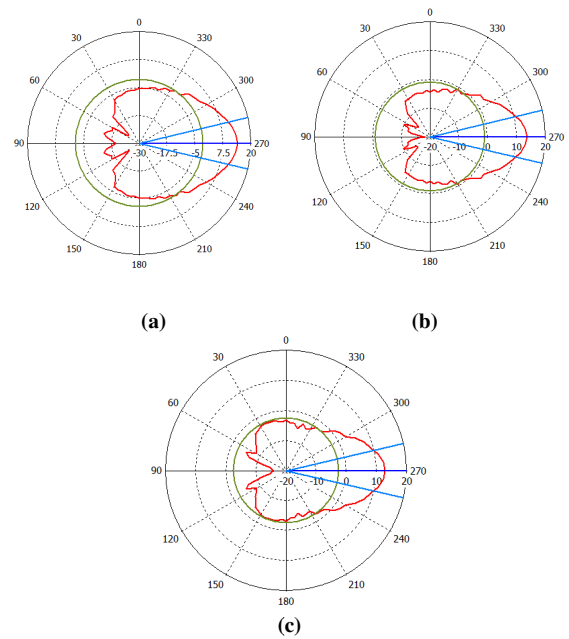


Figura 7. Padrão de irradiação da antena para três valores de A (a) 14 GHz (b) 15 GHz (c) 16 GHz

TABLE II. MEDIDAS DOS DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO

Freqüência (GHz)	Magnitude do lóbulo principal (dB)	Angulo (3dB) graus
14	13.8	26.8 °
15	13.5	26.8 °
16	12.8	26.2 °



Figura 8. Antena Antipodal Vivaldi UWB corrugada fabricada

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a modificação da antena antipodal Vivaldi UWB utilizando a técnica de corrugação com o objetivo de aumentar o ganho. A estrutura corrugada altera a fase das correntes que fluem em toda a largura da borda do

substrato, assim como também muda a direção do campo elétrico.

O tamanho da antena é 134, 250 e 0,75 mm, funciona na banda ultra larga de 1 GHz até 20 GHz, mas é na faixa de funcionamento de 9 GHz até 16 GHz onde apresenta um bom ganho ideal para aplicações STW.

Os lóbulos principais de irradiação da antena ficam sempre direcionados no eixo x, o que indica que a antena é altamente diretiva, condição necessária para ser usada em aplicações STW.

Quando se usa corrugação para 2 valores de A, visto na tabela I, o ganho da antena aumenta para frequências baixas (3 a 4 GHz), mas quando se realiza a corrugação no plano de irradiação com 3 valores de A, o ganho da antena é maior em frequências altas para o caso desde 9 até 16 GHz.

Concluiu-se que a melhora da relação F/B se conseguiu com técnica de corrugação, a melhora convergiu para 3 valores de A na corrugação nos planos de irradiação, a melhora também se apresenta nos diagramas de irradiação da antena que mostra maior diretividade.

Na figura 8, mostra a antena Antipodal Vivaldi UWB corrugada fabricada. Como trabalho futuro, compararemos os resultados simulados obtidos em este trabalho com resultados experimentais obtidos na caracterização da antena em câmara anecóica, isto para verificar o desempenho da antena em Aplicações STW reais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa ROGERS CORPORATION pela doação do substrato RO3003 para a fabricação da antena Antipodal Vivaldi UWB corrugada

REFERÊNCIAS

[1] H. Schantz. "The Art and Science of Ultrawideband Antennas", Artech House Inc., 2005.

- [2] M. Di Benedetto, T. Kaiser, A. Molisch, I. Oppermann, C. Politano, and D. Porcino. "UWB Communications Systems: A Comprehensive Overview", Hindawi Publishing Corporation, New York, USA, 2006.
- [3] Lin, A. and H. Ling. "Through wall measurements of a Doppler and direction of arrival (DDOA) Radar for tracking indoor movers", Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, Vol. 3B, 322- 325, July 2005.
- [4] Christian Debes, Jesper Riedler, Moeness Amin, and Abdelhak M. Zoubir, "Iterative Target Detection Approach for through the wall Radar Imaging", In Proc. of the 4th IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009.
- [5] Yang, Y, Y. Wang, and A. E. Fathy, "Design of compact Vivaldi antenna arrays for UWB see through wall applications", Progress In Electromagnetics Research, PIER 82, 401- 418, 2008.
- [6] Johnna Powell, "Antenna Design for Ultra Wideband Radio", Massachusetts Institute of Technology, pp, 28, 2004.
- [7] Gibson,PJ, "The Vivaldi Aerial", Proc. 9 th European Microwave Conference, 101-105. 1979.
- [8] S. Sugawara, Y. Maita, K. Adachi, K. Mori, and K. Mizuno, "Characteristics of a mm-wave tapered slot antenna with corrugated edges", Microwave Symposium Digest, 1998 IEEE MTT-S International, Volume 2, 7-12 June 1998 Page(s):533 - 536 vol.2
- [9] H. Wang, and H Zhang, "A CPW-FED Ultra-Wideband planar inverted cone antenna", Progress In Electromagnetics Research, PIER 10,vol. 12, 101-112,2010.
- [10] Kim,S. G, and K. Chang, "Ultrawideband Exponentially Tapered antipodal Vivaldi antenna", IEEE Antennas and propagation Society, AP-S International Symposium (Digest), Vol. 3, 2273-2276. 2004.
- [11] Xianming Qing, and Zhi Ning, "Parametric study of Ultrawideband Dual Elliptically Tapered Antipodal Slot Antenna", Research Article, International Journal of Antennas and Propagation, Vol 2, 2008.
- [12] CST GmbH, www.cst.com, versão utilizada MICROWAVE STUDIO 2009.
- [13] ROGERS CORPORATION, Advanced Circuit Materials Division, Data Sheet, 2010.
- [14] Rizk, J. B, and G. M. Rebeiz, "Millimeter-wave Fermi Tapered Slot antennas on micromachined silicon substrates", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 50, No. 3, March 2002.
- [15] Ben Allen and Mischa Dohler, "Ultra-wideband antennas and propagation for communications: Radar and imaging", John Wiley & Sons Ltd 2007.