

Limites Fundamentais em Antenas Impressas Pequenas

Carlos Mendes¹, Custódio Peixeiro²

¹ Departamento de Engenharia de Electrónica e
Telecomunicações e de Computadores
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Rua Conselheiro Emídio Navarro
1949-014, Lisboa, Portugal
Tlf: +351 218317209 Fax: +351 218317114
e-mail: cmendes@deetc.isel.ipl.pt

² Instituto de Telecomunicações
Instituto Superior Técnico
Avenida Rovisco Pais, 1
1049-001 Lisboa, Portugal
Tlf: +351 218418167 Fax: +351 218418472
e-mail: custodio.peixeiro@lx.it.pt

O objectivo desta comunicação é a análise de antenas impressas miniaturizadas utilizadas nos modernos e pequenos terminais portáteis dos sistemas de comunicações móveis. Começa-se pelo estudo do comportamento de antenas em geral, apresentando limites físicos fundamentais no que diz respeito à relação entre dimensão, ganho e largura de banda. É mostrado que a largura de banda, ganho e volume de uma antena estão relacionadas entre si e que o produto ganho - largura de banda é proporcional ao volume da antena. Apresentam-se ainda resultados de protótipos construídos anteriormente, e mostra-se que estes apresentam um desempenho que se encontra afastado do limite teórico, o que parece indicar que podem ainda ser mais optimizados.

Introdução

Um dos principais desafios tecnológicos na construção de equipamentos electrónicos para uso pessoal prende-se com o desenvolvimento de terminais cada vez mais rápidos, mais pequenos e com o maior número de serviços possível. Além disto, devido à actual exigência de mobilidade do utilizador, os equipamentos sem fio são quase obrigatórios. Este último requisito leva à necessidade de incorporar antenas que, simultaneamente, suportem todos os serviços desejados e possam ser integradas no espaço disponível.

É bem conhecido o facto da dimensão óptima de uma antena ser directamente proporcional ao comprimento de onda de trabalho e portanto, para se obter o mesmo desempenho, quanto maior é a frequência menor será a dimensão da antena. Devido à crescente miniaturização dos sistemas electrónicos de grande consumo, o espaço disponível para as antenas é cada vez menor obrigando, muitas vezes, à utilização de antenas de dimensões muito inferiores às ideais. Reveste-se assim de enorme importância uma boa caracterização das antenas de pequenas dimensões de modo a optimizar-se o seu desempenho face ao espaço disponível.

As antenas impressas apresentam características que as tornam particularmente adequadas para integração em terminais móveis. O seu baixo perfil e a grande versatilidade no comportamento eléctrico (largura de banda, diagrama de radiação, polarização) tornou este tipo de antenas um sucesso em muitas aplicações

comerciais. Mesmo algumas desvantagens que apresentam têm sido ultrapassadas através de um grande esforço de investigação relatado nos inúmeros artigos e livros de carácter científico dedicados ao tema, que surgem todos os anos. No entanto existe pouco trabalho dedicado à caracterização do funcionamento das antenas impressas com dimensões reduzidas.

Limites Fundamentais em Antenas

A técnica utilizada para a obtenção dos limites fundamentais em antenas consiste em rodear a antena por uma esfera imaginária de raio a , sendo $2a$ a maior dimensão da antena, e, recorrendo ao princípio da equivalência, decompor o campo radiado a partir desta esfera num conjunto de modos de propagação esféricos ortogonais[1,2]. A partir desta expansão é possível relacionar a maior dimensão da antena com o ganho e com a largura de banda que esta pode atingir.

Largura de Banda

A largura de banda pode estimar-se a partir do conhecimento do desempenho da antena numa única frequência fazendo uso do conceito de factor de qualidade. Este parâmetro é definido apenas na frequência em que a antena é ressonante (sendo esta uma condição usual em antenas) e é dado por

$$Q = \omega \frac{W}{P_{rad}} \quad (1)$$

onde W é a potência reactiva armazenada em torno da antena e P_{rad} é a potência radiada. Quando o factor de qualidade é elevado pode ser interpretado como sendo o recíproco da largura de banda, de acordo com a expressão

$$\frac{1}{Q} \approx \frac{f_c}{f_s - f_i} \quad (2)$$

onde f_c é a frequência central de operação e f_s, f_i são, respectivamente, as frequências de meia potência superior e inferior. Segundo [3] esta é uma boa aproximação sempre que $Q > 2$.

Partindo da expansão referida anteriormente e utilizando diferentes técnicas é mostrado em [1,2,4,5] que o menor factor de qualidade que uma antena com polarização linear pode atingir é obtido quando esta gera apenas o primeiro modo de propagação e está relacionado com a dimensão da antena como se segue

$$Q_{min} = \frac{1}{(\beta a)^3} + \frac{1}{\beta a} \quad (3)$$

onde $\beta = 2\pi / \lambda$. Conclui-se daqui que, mesmo que esteja em funcionamento apenas um modo, a largura de banda depende do tamanho eléctrico da antena. Como quanto menor for a antena menor será a largura de banda, as antenas electricamente pequenas tenderão a exibir uma largura de banda estreita.

Ganho

Em [2] é demonstrado que o ganho máximo que uma antena pode atingir é dado por

$$G_{\max} = N^2 + 2N \quad (4)$$

onde N é o número de modos gerados pela antena. Como quanto maior for o número de modos que a antena gera maior será o ganho que se esta pode atingir não existe um limite superior para o ganho. É também mostrado que um modo de ordem n atinge a condição de corte quando $n = \beta a$. Define-se então ganho normal como sendo dado por

$$G_{\max} = (\beta a)^2 + 2\beta a \quad (5)$$

e representa o ganho máximo que se pode obter contabilizando apenas os modos que verificam as condições de propagação. Resulta daqui que o ganho máximo é directamente proporcional à maior dimensão da antena.

Do exposto anteriormente resulta que a largura de banda e o ganho dependem das dimensões da antena de forma inversa. Um aumento do ganho é possível à custa de um aumento do número de modos gerados. No entanto, como um aumento do número de modos leva a um aumento do factor de qualidade, a largura de banda máxima irá diminuir. Conclui-se assim não ser possível uma optimização simultânea do ganho e da largura de banda. .

Perdas

O factor de qualidade definido anteriormente é válido assumindo que a antena não apresenta perdas. Caso estas existam, parte da potência fornecida à antena é radiada e a restante é perdida na própria antena. Neste caso o factor de qualidade passa a ser dado por

$$Q = \omega \frac{W}{P_{\text{rad}} + P_{\text{per}}} \quad (6)$$

onde P_{per} é a potência de perdas. Definindo rendimento de radiação da seguinte forma

$$\eta = \frac{P_{\text{rad}}}{P_{\text{rad}} + P_{\text{per}}} \quad (7)$$

resulta que o factor de qualidade de uma antena com perdas, Q_p , está relacionado com o factor de qualidade de uma antena sem perdas do seguinte modo

$$Q_p = \eta Q \quad (8)$$

Como $0 < \eta < 1$ a presença das perdas faz com que o factor de qualidade diminua e a largura de banda aumente. No entanto, como as perdas implicam uma diminuição da potência radiada este não é um efeito desejável, habitualmente.

Exemplos de Protótipos

Nesta secção mostra-se o desempenho de 6 antenas impressas construídas para serem aplicadas em terminais móveis. Uma breve descrição do tipo de antena utilizada em cada protótipo é mostrada na Tabela 1. Na Figura 1 é mostrada uma fotografia com os vários protótipos.

Tabela 1 – Breve descrição dos protótipos

Protótipo	Descrição	f_c [GHz]	B [%]	a [mm]
Ex. 1 [6]	Antena quadrada	5.365	17.7	91.92
Ex. 2 [7]	PIFA simples	2.065	22.2	72.11
Ex. 3 [8]	PIFA com uma fenda em L	2.135	37.0	53.85
Ex. 4 [9]	PIFA com 2 fendas em U	1.905	31.0	53.85
Ex. 5 [10]	Antena fractal com uma fenda em U	1.970	23.4	54.83
Ex. 6 [11]	Antena quadrada dobrada	2.435	5.3	44.72

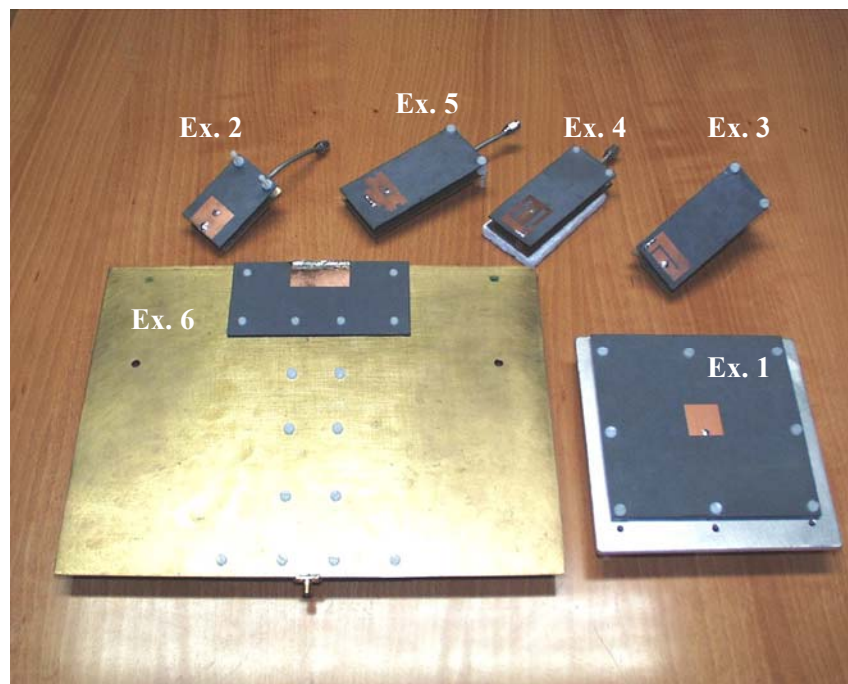


Figura 1 – Fotografia dos vários protótipos analisados

Em antenas impressas é sabido que, até um certo tamanho, o desempenho da antena depende da dimensão do substrato e do plano de massa utilizados. Para além deste tamanho, um aumento do substrato ou do plano de massa não altera o funcionamento da antena substancialmente. Conclui-se daqui que parte do substrato e do plano de massa contribuem activamente para a radiação e o tamanho da antena não será apenas ditado pela dimensão do elemento impresso mas pela dimensão do conjunto. Assim, para determinar o valor de a , nos exemplos 2 a 5, dadas as reduzidas dimensões utilizadas, foi considerado toda a estrutura, isto é, elemento impresso, substrato e plano de massa. Nos exemplos 1 e 6 foi considerado apenas o próprio elemento impresso. Isto deve-se a que nestes dois exemplos foi utilizado um substrato e um plano de massa bastante grande e nas referências não existem dados suficientes para estimar a zona activa total. Assim, os resultados apresentados para estes dois exemplos são mais optimistas que os reais.

Mostra-se na Figura 2 a evolução da expressão (3) bem como o factor de qualidade inferido a partir da medida da largura de banda dos vários protótipos. A estimativa do factor de qualidade de uma antenna real pode ser efectuada recorrendo à medida da relação de onda estacionária ROE e utilizando a seguinte expressão

$$Q = \frac{ROE - 1}{B\sqrt{ROE}} \quad (9)$$

onde B é a largura de banda definida pelas frequências em torno de f_c para as quais se mede um determinado ROE . A largura de banda apresentada na Tabela 1 foi medida considerando $ROE = 3$.

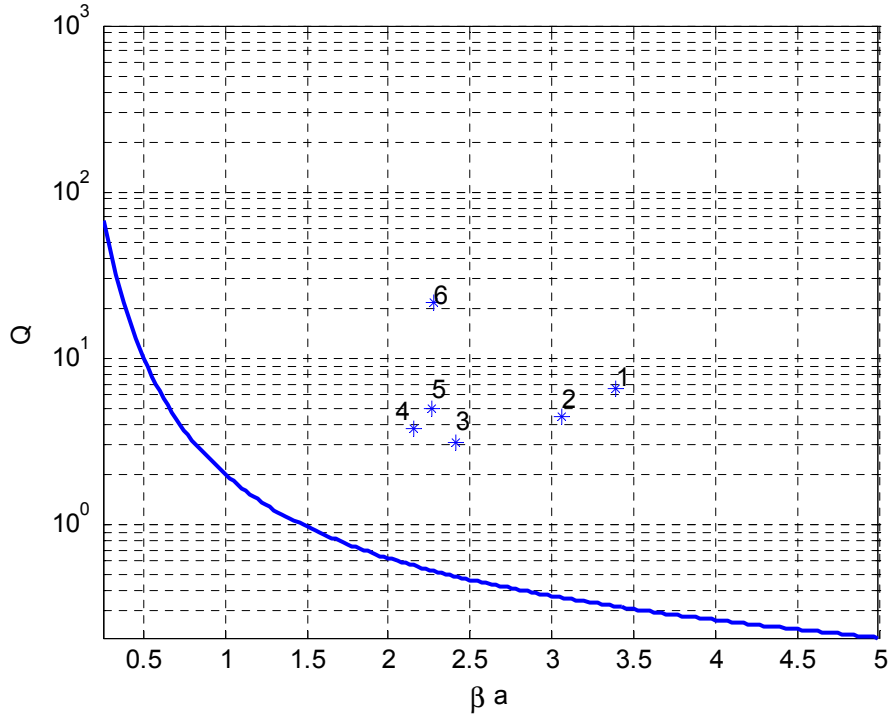


Figura 2 – Q teórico mínimo vs Q medido em várias antenas impressas

Como se pode verificar, e era expectável,, todos os protótipos apresentam um factor de qualidade superior ao limite mínimo correspondente à dimensão da antenna e, consequentemente, apresentam uma largura de banda inferior ao valor máximo atingível. Quer isto dizer que o espaço ocupado pela antenna pode ser melhor aproveitado de modo a melhorar o seu desempenho. Como o factor de qualidade apresentado na figura 2 foi calculado a partir dos resultados experimentais da antenna, a presença das possíveis perdas também é contabilizada e, da discussão apresentada no ponto anterior, resulta que o factor de qualidade apresentado é mais optimista do que o que se obteria se a antenna não apresentasse perdas.

Trabalho Futuro

Como quando se mede a largura de banda é impossível saber se esta corresponde à largura de banda máxima ou se está influenciada pela presença de perdas, a determinação do rendimento da antenna reveste-se de grande importância. Com este objectivo os autores estão já a desenvolver trabalho utilizando o método *Wheler Cap* [12]. Além da estimativa das perdas, uma boa estimativa da zona útil de radiação da antenna deve

também ser obtida. Tal pode ser feito através da análise da distribuição de correntes no plano de massa recorrendo à utilização de ferramentas computacionais. O dimensionamento de protótipos que optimizem o espaço disponível é outro objectivo futuro.

Referências

- [1] L. J. Chu, “Physical Limitations of Omni-Directional Antennas”, *J. Appl. Phys*, Vol. 19, pp. 16-28, Dezembro de 1948.
- [2] R. F. Harrington, “Effect of Antenna Size on Gain, Bandwidth and Efficiency”, *J. Res. NBS*, Vol. 64D, pp. 1-12, Fevereiro de 1960.
- [3] R. C. Hansen, “Fundamental Limitations in Antennas”, *Proc. IEEE*, Vol. 69, No. 2, Fevereiro de 1981.
- [4] R. E. Collin e S. Rothschild, “Evaluation of Antenna Q”, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. AP-12., pp. 23-27, Janeiro de 1964.
- [5] R. L. Fante, “Quality factor of general ideal antennas”, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. AP-17, pp. 151-155, Março de 1969.
- [6] T. Gandara e C. Peixeiro, “Design, Fabrication and Test of an 8 Microstrip Elements Horizontal Array Antenna for Telenor’s Chanel Sounder”, *relatório técnico do Instituto de Telecomunicações*, Lisboa, Julho de 2003.
- [7] R. Urban e C. Peixeiro, “Ground Plane Size Effects on a Microstrip Patch Antenna for Small Handsets”, actas de *15th Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications (MIKON 2004)*, pp. 521-524, Varsóvia, Polónia, Maio de 2004.
- [8] L. Fregoli e C. Peixeiro, “Small Multi-Band Planar Inverted-F Antenna for Mobile Communication Systems and WLAN/WPAN Applications”, actas de *2004 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory*, pp 1173-1175, Pisa, Itália, Maio de 2004.
- [9] T. Gandara e C. Peixeiro, “Compact Triple-Band Double U-Slotted Planar Inverted-F Antenna”, actas de *The 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Barcelona, Espanha, Setembro de 2004.
- [10] J. Guterman, A. Moreira e C. Peixeiro, “Microstrip Fractal Antennas for Multi-Standard Terminals”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 3, pp. 351-354, Dezembro de 2004.
- [11] J. Guterman, A. Moreira e C. Peixeiro, “Omnidirectional Wrapped Microstrip Antenna for WLAN Applications in Laptop Computers”, actas de *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, Washington, D. C., E. U. A., Julho de 2005.
- [12] D. M. Pozar e B. Kaufman, “Comparision of three methods for the measurement of printed antenna efficiency” *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 36, No. 1, Janeiro de 1988.