

Medidor de Campo electromagnético selectivo na frequência para as bandas GSM900/GSM1800

Carlos José Borda, Rogério Paulo Dias, Nuno Borges de Carvalho e João Nuno Matos

Resumo - Este artigo descreve o projecto e implementação de um medidor de campo electromagnético selectivo na frequência para as bandas GSM 900 e GSM 1800.

Na primeira parte são abordados alguns conceitos de suporte, tais como: efeitos biológicos da radiação electromagnética e limites de exposição, campo próximo e distante e ainda medição de potência. Em seguida apresenta-se as especificações, a arquitectura do medidor implementado e os resultados obtidos.

Abstract - This paper describes the design, implementation and test of a frequency selective electromagnetic field meter for the GSM900 and GSM1800 bands developed on an engineering degree final project.

We will start to introduce all the necessary background concepts such as: biological effects of electromagnetic radiation and reference exposure levels, near and far field and power measurement. Finally, we will present the specifications, the architecture of the implemented device and the obtained results.

I. INTRODUÇÃO

As últimas décadas foram marcadas pelo estonteante desenvolvimento da tecnologia nas mais diversas áreas. Um exemplo de sucesso é o sector das telecomunicações e em particular as Comunicações Móveis.

Recentemente presenciou-se uma explosão à escala mundial das comunicações celulares. O terminal móvel é hoje um objecto indispensável nas empresas, no comércio e no relacionamento humano.

A chegada da 3ª geração e a concentração de tecnologias num único terminal (Internet, e-mail, fax, localização...) abrirá portas a mais e mais utilizadores. A expansão dos sistemas motivada pelo crescimento contínuo do número de utilizadores, leva ao aparecimento de novos operadores, e de mais estações base e terminais móveis. Por outro lado, o desconhecimento provoca desconfiança e fomenta receios, por vezes infundados e por vezes com razão.

Devido a esta crescente preocupação do público com as radiações electromagnéticas, torna-se necessário caracterizar o campo electromagnético produzido em Comunicações Móveis.

II. EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E LIMITES DE EXPOSIÇÃO

A radiação emitida pelas antenas das estações base ou pelos terminais móveis são formas de energia electromagnética em RF. As emissões de RF e respectivos fenómenos associados, discutem-se em termos de energia, radiação ou campos.

Quanto maior for a frequência de uma onda electromagnética, maior será a energia do fóton a ela associado e consequentemente a sua capacidade de interacção

com o material biológico. Assim, o processo de interacção entre uma fonte electromagnética e o material biológico, depende da frequência da fonte.

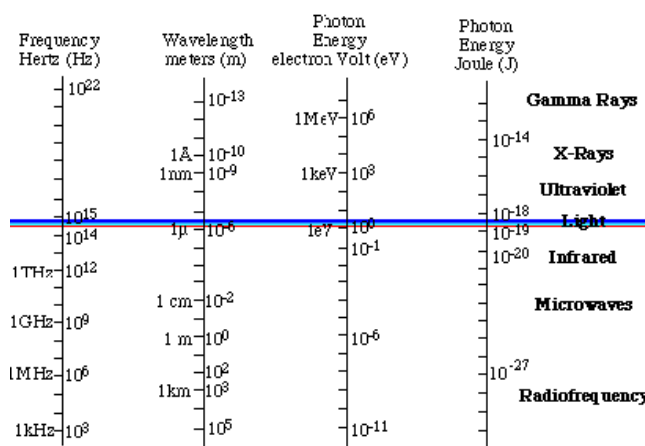


Figura 1 - Espectro electromagnético

A frequências superiores à do espectro visível, como é o caso dos Raios X, as partículas electromagnéticas têm energia suficiente para quebrar as ligações químicas (ionização). Na banda do espectro de RF a energia dos fótons não é suficiente para causar a ionização dos átomos e das moléculas nos tecidos vivos, pelo que a radiação RF é considerada não-ionizante. A maior parte dos efeitos associados a este tipo de radiação, na banda de frequências dos sistemas de comunicação móveis, é devida ao calor. Outras consequências, que nada tem a ver com os efeitos térmicos são também possíveis, mas a pesquisa efectuada até agora nesta área revela que só se verificam para níveis de exposição muito elevados, como sejam por exemplo a Leucemia, Cegueira, Esterilidade, etc. [3]

Para que se tenha noção dos possíveis efeitos que a radiação RF pode causar no corpo humano, é necessário determinar a amplitude dos campos electromagnéticos nas zonas afectadas pelos mesmos. Desta forma, é necessário conhecer as características eléctricas dos diferentes tipos de tecido e, uma vez determinadas estas propriedades, é possível calcular os campos eléctrico (E) e magnético (H) em qualquer parte do corpo, causados por uma fonte particular de radiação. A taxa de absorção de energia electromagnética por unidade de massa de tecido é designada por taxa de absorção específica (SAR): [1]

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} [W/kg]$$

onde:

- E - Valor eficaz do campo eléctrico [V/m];
- σ - Condutividade eléctrica do material [S/m];
- ρ - Densidade do tecido [kg/m³]

O necessário estabelecimento de uma relação entre a energia absorvida e o calor induzido (isto é, o aumento da temperatura do tecido devido à absorção de energia) leva à medição da SAR durante um certo período de tempo. A maioria das normas recomenda 6 minutos para exposições controladas (exposição em locais onde as pessoas ou trabalhadores estão conscientes da exposição à fonte de radiação).

A SAR varia de ponto para ponto no corpo humano devido não só à variação de direcção dos campos electromagnéticos e das características eléctricas dos diferentes tecidos, mas também porque o nível de exposição é diferente para cada zona do corpo. A SAR não é facilmente medida em condições normais de exposição à radiação. Os valores são geralmente obtidos por simulação em computador ou em modelos do corpo humano preenchidos com substâncias de características comparáveis às do ser vivo, que se chama normalmente de *phantom*. Isto constitui um problema quando se dispõe de poucos recursos. Desta forma, para efeitos práticos de avaliação da exposição, (a fim de determinar a probabilidade das restrições básicas serem ultrapassadas), estabelecem-se limites derivados ou de referência. Estes limites obtêm-se a partir das restrições básicas para a situação de um acoplamento máximo do campo com o indivíduo exposto, proporcionando-se, assim, uma protecção máxima.

Os limites derivados ou de referência são definidos em termos de campo eléctrico, campo magnético ou densidade de potência, S. Estes parâmetros são fáceis de medir recorrendo a equipamento adequado, e nas bandas de frequências usadas é suficiente medir apenas um deles, pois relacionam-se pela fórmula abaixo. [1]

$$\frac{E}{H} = Z_0 = 120\pi \text{ } (\Omega)$$

$$S = E * H [W / m^2]$$

onde:

- E - Valor eficaz do campo eléctrico [V/m];
- H - Valor eficaz do campo magnético [A/m];
- Z_0 - Impedância característica [Ω];
- S - Densidade de potência [W/m^2].

Há diversos organismos, entre os quais o ANSI/IEEE, o CENELEC e a FCC, que estabelecem um conjunto de normas com restrições básicas para a SAR ou derivadas para outros parâmetros de medida. As diversas normas são especificadas para diferentes situações, correspondentes à exposição em várias zonas do corpo humano, por trabalhadores ou população em geral, e em ambientes controlados ou não controlados. Há diferenças entre os valores numéricos dos limites de segurança estabelecidos pelos organismos referidos, mas que em termos de efeitos biológicos não são minimamente significativos. Organizações como a Organização Mundial de Saúde (OMS) têm também criado grupos de trabalho no sentido de minimizar as diferenças entre as várias normas existentes. Refira-se que se encontra em

curso um projecto internacional, iniciado pela OMS sobre este assunto [3].

Na tabela 1 apresentam-se os limites de referência (valores médios) para exposição de todo o corpo, pelo público em geral, em ambiente não controlado, com tempo de exposição > 6 minutos. Note-se que os limites apresentados na tabela seguinte referem-se a bandas de frequências que compreendem os sistemas GSM. [2]

Gama de frequências	Intensidade do campo E (V/m)	Intensidade do campo H (A/m)	Densidade de potência equivalente de onda plana S_{eq} (W/m ²)
10 – 400 MHz	28	0,073	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$f/200$
2 - 300 GHz	61	0,16	10

Tabela 1 - Níveis de referência para campos eléctricos, magnéticos e electromagnéticos (valores rms não perturbados) adoptados pelo Conselho Europeu

Para efeitos de avaliação do cumprimento dos limites de exposição, as normas recomendam que se verifiquem as inequações 1 e 2. No entanto, nas bandas de frequências de interesse, basta garantir que apenas uma delas é satisfeita visto que em campo distante estão relacionadas por Z_0 . Assim, optou-se pela verificação da inequação 1.[1] [2]

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{87 \sqrt{f}} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{\text{lim}_i}} \right)^2 \leq 1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{150\text{KHz}} \left(\frac{H_j}{0,73 \sqrt{f}} \right)^2 + \sum_{i>150\text{KHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{\text{lim}_j}} \right)^2 \leq 1 \quad (2)$$

onde:

- E_i - Intensidade de campo eléctrico à frequência i;
- E_{lim_i} - Nível de referência do campo eléctrico para a frequência i;
- H_j - Intensidade de campo magnético à frequência j;
- H_{lim_j} - Nível de referência do campo magnético para a frequência j.

III. CAMPO DISTANTE E CAMPO PRÓXIMO

A. Campo distante

Em comunicações móveis o campo distante é dado pela distância de *Fraunhofer* e é definido por:

$$d_f \gg D \text{ e } d_f \gg \lambda$$

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

em que D é a dimensão máxima da antena.

Nesta região pode-se considerar que as ondas electromagnéticas propagadas são planas e a relação entre E e H é simples pelo que basta medir apenas um deles. Os níveis de referência de campo eléctrico (E), magnético (H) e densidade de potência (S) impostos pela legislação referem-se sempre a campo distante.

B. Campo próximo

- O máximo e mínimo de E e H não ocorrem nos mesmos pontos ao longo da direcção de propagação como acontece no campo distante $\Rightarrow$ inexistência de relação proporcional entre E e H.
- No campo próximo a estrutura do campo pode ser altamente não homogénea, podem existir campos E quase puros em algumas regiões e campos H quase puros em outras.
- É necessário medir E e H separadamente.

Os níveis de exposição no campo próximo são difíceis de especificar porque ambos os campos E e H têm que ser medidos. Neste caso a grandeza legislada é a taxa de absorção específica (SAR). [1]

IV. ESPECIFICAÇÕES E ARQUITECTURA

A. Medição de potência

Diversos termos são usados quando se fala de potência, entre estes destacam-se:

- *Peak power*;
- *Average power*.

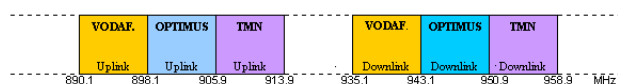
Peak power é a potência máxima instantânea.

Average power é a média de potência calculada em vários ciclos, é o tipo de medição mais utilizado e que foi também adoptado no dispositivo construído.

B. Especificações

As especificações do medidor baseiam-se nos limites que constam da legislação imposta pelo organismo regulamentador do espectro radioelétrico (ANACOM).

Gama de frequências na banda de GSM 900 de cada operador:



Gama de frequências na banda de GSM 1800 de cada operador:

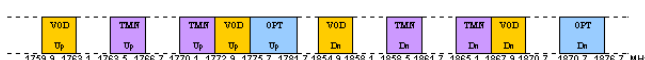


Figura 2 – Gama de frequências atribuídas aos operadores móveis nacionais

LB de Medida	200 kHz	
Potências	máx.	0 dBm
	mín.	-45 dBm
Faixa	GSM900	890 - 915 MHz 935 - 960 MHz
	DCS1800	1710 – 1785 MHz 1805 – 1880 MHz

Tabela 2 – Especificações do medidor

C. Arquitectura

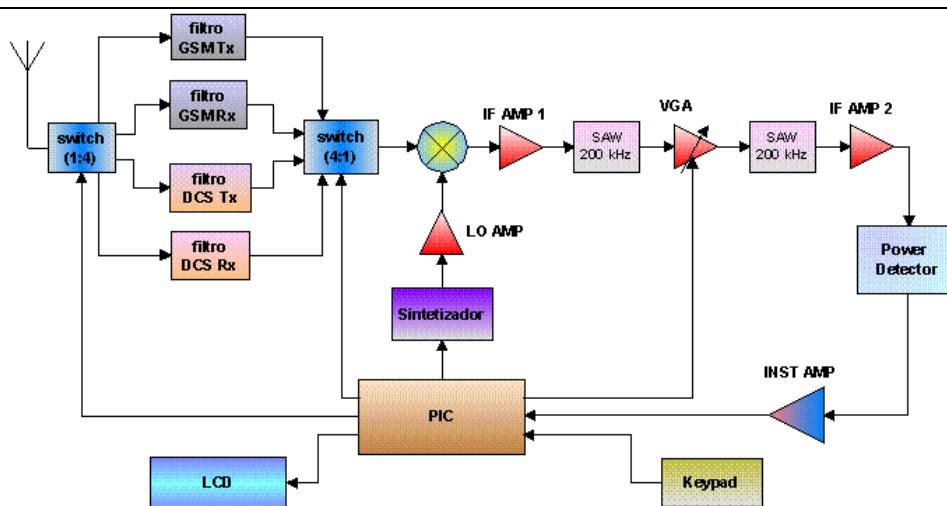


Figura 3 - Diagrama de blocos do medidor

Principais características da arquitectura escolhida:

- Receptor Superheterodino;
- Selecção dos canais por dois SAW filters de 200 kHz;
- Controlo de ganho variável (VGA) com 23 dB;
- Um único oscilador local comum às bandas GSM900 e GSM1800;
- Antena de banda larga omnidireccional (800 MHz a 3GHz);
- Microcontrolador PIC16F877.

V. IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

O objectivo deste medidor é medir a potência média de um canal móvel (200KHz) à escolha. O canal pretendido é seleccionado pelo utilizador recorrendo-se de um teclado. O microcontrolador controla todo o sistema de forma a que quando se completa o processo de medição, seja enviada para o LCD a informação respeitante ao valor medido.

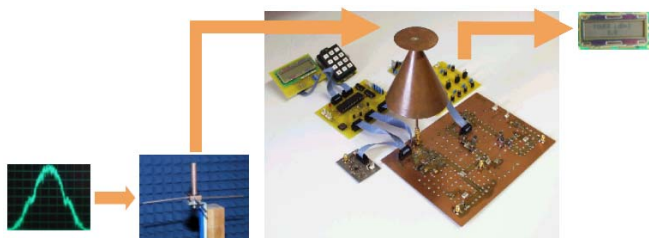


Figura 4 – Medidor implementado

Sendo o receptor um superheterodino, há certos aspectos a ter em consideração para que este funcione correctamente, nomeadamente a rejeição da frequência imagem. Para evitar esse problema, é usado um banco de filtros, na entrada, seleccionados por dois comutadores de RF.

O medidor não ficaria completo sem uma antena. Das várias configurações possíveis para antenas de banda larga, optou-se pela discônica pelo facto de ser uma antena omnidireccional no plano horizontal.

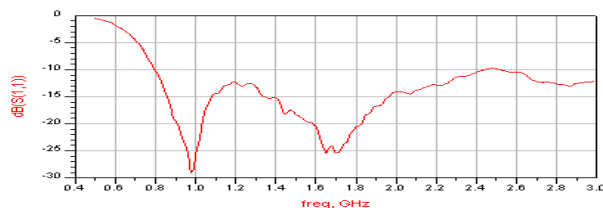


Figura 5 – Adaptação da antena discônica implementada em função da frequência

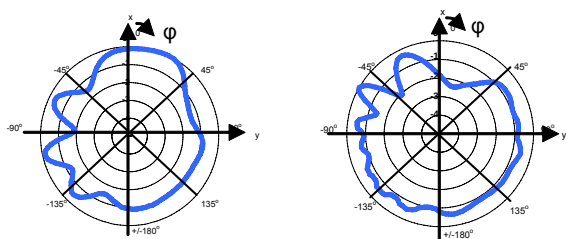


Figura 6 – Diagramas de radiação da antena discônica. À esquerda para uma frequência 902MHz e à direita para 1770MHz.

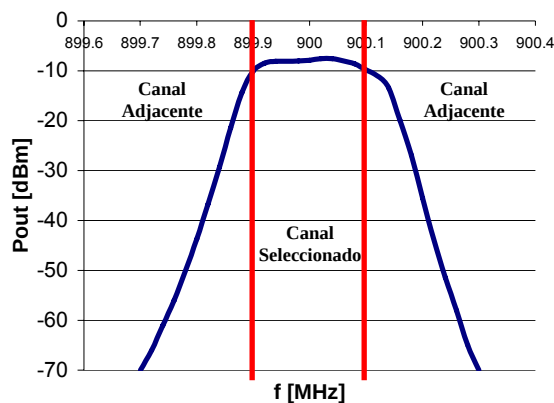
Das figuras 5 e 6 pode-se concluir que a antena implementada é essencialmente omnidireccional nas duas bandas de interesse para o nosso medidor e que está adaptada entre os 800MHz e os 3GHz.

Para realização de alguns testes também foi projectada e implementada uma antena para a banda de GSM900, que se pode ver na figura 4.

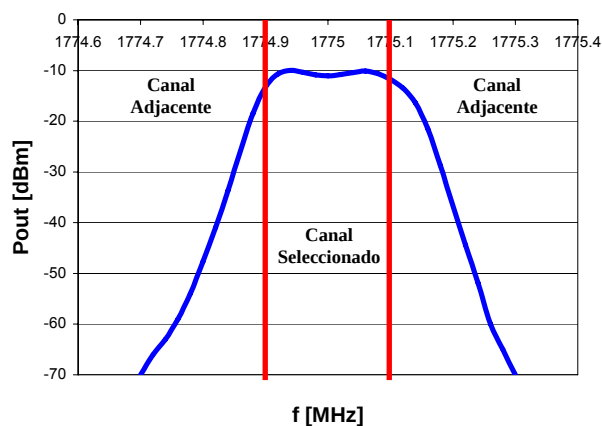
Para se obter a resposta na frequência do receptor, mediu-se o sinal à saída quando à entrada era colocada uma portadora sinusoidal com -20 dBm.

Do gráfico da figura 7a) retira-se, que o sistema implementado tem um comportamento excepcional na rejeição dos canais adjacentes, apresentando 37dB de atenuação nos canais vizinhos para um canal aleatoriamente escolhido em GSM900.

Também se verifica o comportamento em GSM1800, escolhendo para tal, um canal centrado à frequência 1775MHz.



a)



b)

Figura 7 –Selectividade do canal, nas bandas 900MHz a) e 1800MHz b)

O mesmo se passa na banda superior, que nos leva a concluir que medidor tem um comportamento extremamente eficiente em toda a banda garantindo uma óptima selectividade de canal.

Os resultados obtidos estão de acordo com as especificações apresentadas:

- Medição em toda a gama de valores de potência para o qual foi projectado;
- Sintonização correcta de todos os canais do espectro móvel;
- Correcta selecção do canal a medir e rejeição de 37 dBs dos canais adjacentes;

VI. CONCLUSÕES

Após os testes realizados ao medidor podemos garantir:

- A validade e a adequação da arquitectura proposta;
- A medição do canal desejado de acordo com as especificações, garantindo grande rejeição dos canais adjacentes.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos Professores Dr. José Luís Azevedo e Dr. Rocha Pereira, pelas ajudas na implementação da PIC e das Antenas respectivamente.

REFERÊNCIAS

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, ICNIRP Guidelines, 1998.
- [2] Conselho da União Europeia, “Recomendação do conselho de 12 de Julho de 1999, relativa à limitação de exposição da população aos campos electromagnéticos (0Hz-300GHz)”, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 199/59, Bruxelas, Julho, 1999.
- [3] World Health Organization, The International EMF Project, 2002 (<http://www.who.int/peh-emf/en/>)