

Radiometria

Luís Cupido¹

Há um conjunto aplicações rádio em que é necessário medir com exactidão a potência do ruído numa largura de banda predeterminada. Estas aplicações vão desde a simples instrumentação para caracterização de componentes e sistemas até ao 'remote sensing' e à radioastronomia. Quando se pretende medir a potência do ruído numa determinada banda de interesse apesar de se tratar de aquilo a que efectivamente pelas suas características estatísticas chamamos ruído é todavia conveniente manter a correcta terminologia uma vez que este ruído é na realidade o nosso sinal pois é o que pretendemos medir sendo que devemos reservar a palavra ruído para o que desejaríamos que não existisse. Assim o sistema tem um ruído que é indesejável, enquanto a minha medida vai medir um sinal mesmo que ambos apresentem as mesmas características e estatística. Esta quantidade que eu pretendo medir será sempre o meu sinal (mesmo que nos dê vontade de lhe chamar ruído).

Pode considerar-se:

- a medida ocorre para sinais de grande amplitude e pode usar-se a medida de tensão e corrente "true RMS";
- a potência do sinal a medir é inferior à potência ruído do sistema ou mesmo até ao ruído térmico de fundo externo ao sistema. Este é situação que encontramos no 'remote sensing' e na radioastronomia bem como na caracterização de sistemas que se destinem a estas aplicações. Nestes casos só poderá ser avaliada a diferença entre duas medidas de potência na ausência e presença do nosso sinal. O quociente entre estas duas medidas é normalmente designado por Y e corresponde a medir a potência total na saída do nosso sistema receptor na ausência do sinal e observar o aumento da medida na presença do nosso sinal.

$$Y = \frac{P_{tot}}{P_{sys}} \quad Y = \frac{S + N_{sys}}{N_{sys}} \quad Y = \frac{T_a + T_{sys}}{T_{sys}}$$

Para sinais débeis é interessante considerarmos essas potências expressas pelas suas temperaturas equivalentes. Teoricamente mesmo para um valor de S (ou T_a) muito pequeno seria sempre possível efectuar uma medição todavia o valor de Y fica quase invariável e muito próximo da unidade, portanto à medida que os valores a medir vão sendo cada vez mais pequenos necessitamos de poder resolver melhor a medida de potência para desta forma poder detectar o pequeno acréscimo de potência que vai ocorrer na situação que medimos o sinal. Por exemplo se pretendermos medir um sinal, que vamos aqui expressar pela sua temperatura equivalente, de 1K e o nosso sistema rádio tem um factor de ruído de 0,8 dB = 58,7 K o nosso fator de acréscimo de potência Y será de 1,017 ou seja um acréscimo de 0,073dB neste caso seria necessário resolver bem melhor que 0,05 dB para podermos ter uma confiança na nossa medida.

Há, no entanto, um problema fundamental uma vez que estamos a efectuar uma medida de potência de um sinal somado com o ruído do sistema, que resulta numa medida incerta em cada instante pois a potência total distribui-se de forma estatística, sendo que apenas estamos interessados na sua potência média. Assim, a medida de potência apresenta flutuações que vão impossibilitar resolver acréscimos de potência muito pequenos; todavia assiste-nos o recurso a integrar a medida, tanto quanto possível, diminuindo assim esta incerteza, mas nunca a eliminando. As flutuações RMS de uma medida de potência de um sinal com características de ruído numa largura de banda B_w são:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{k}{\sqrt{B_w \cdot \tau}} \quad \frac{\Delta T}{T} = \frac{k}{\sqrt{B_w \cdot \tau}}$$

Em que 'k' é uma constante que depende do tipo de receptor usado (igual a 1 no caso de estarmos a medir a potencia total com um receptor de rádio convencional), 'B_w' é a largura de banda do receptor e 'τ' o tempo de integração da medida. Tal como foi referido anteriormente, é irrelevante expressar estas quantidades por potências ou temperaturas equivalentes.

Esta equação da radiometria (equação de Dickie) é fundamental na determinação da sensibilidade de um sistema radiométrico.

Sendo que a equação determina a amplitude das flutuações RMS da nossa medida, fica claro que temos que definir o quanto acima do valor de pico a que este valor RMS corresponde pretendemos assumir como válida a medida

que vamos fazer. É prática comum usar um factor 3 do valor RMS calculado até ao que chamamos a resolução efectiva do nosso sistema.

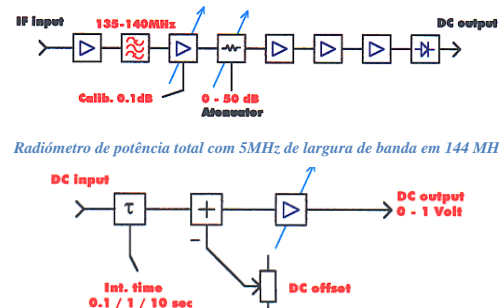
A observação da equação acima diz-nos que o sistema é tão mais sensível quanto maior o tempo de integração da medida (intuitivo) e quanto maior a largura de banda usada (o que poderá ser menos intuitivo).

Podemos assim calcular qual é o nosso limite de resolução para uma medida radiométrica para as características mais comuns dos nossos receptores de rádio convencionais de radiocomunicações e concluir que estes têm fraco desempenho enquanto receptores radiométricos. Por exemplo um recetor de SSB com 2,3 kHz de largura de banda e uma medida efectuada por um multímetro digital, que realiza 5 medidas por segundo, resulta em:

$$\Delta T/T = 1/(2300 \times 0,2)^{1/2} = 0,047.$$

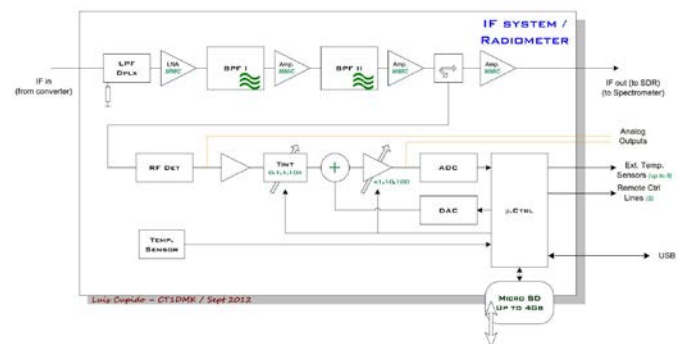
Se assumirmos então o factor 3 para expressarmos a sensibilidade do sistema temos 0,14 ou um acréscimo de potência de 1,14, que em dB dá 0,57dB, o que é manifestamente uma resolução radiométrica muito má.

Com o exemplo acima referido demonstra-se, de forma simples, que para efectuar uma medida com resolução necessária às aplicações radiométricas, sejam estas de 'remote sensing' ou de radioastronomia, torna-se necessário a elaboração de um receptor dedicado ou a modificação algo extensa de um receptor existente. O parâmetro fundamental é a largura de banda que deverá ser tão larga quanto possível, pelo menos de alguns MHz, já que aumentando o tempo de integração, por si só, não é suficiente.



O sinal DC do detector em que é subtraída o valor DC que corresponde ao T_{sys} amplificando apenas de seguida o excesso de potência que pretendemos medir tornando assim possível fazer com que o sinal de saída de 0 a 1V contenha apenas uma fracção de dB em toda a sua excursão (técnica conhecida como 'offset and zoom').

A caracterização de sistemas de recepção de rádio recorre muitas vezes ao Sol como fonte de sinal para aferições e calibrações uma vez que este apresenta um sinal consideravelmente forte; todavia o Sol é demasiado variável e irregular para poder ser usado com confiança principalmente se estivermos interessados numa caracterização ou optimização minuciosa.



Radiómetro de potência total usando tecnologia actual e que pode funcionar em local remoto fazendo registo da informação (data logger) e servindo igualmente de FI do sistema de recepção. Este pode ser usado para resolver variações de potência tão pequenas como 0,0001dB ou de 1 mK se for empregue num receptor com cerca de 50 K de ruído.

Uma caracterização, usando a Lua ou uma zona do céu com emissividade conhecida, é bem mais conveniente; todavia as medidas de potência vão ser consideravelmente mais difíceis e torna-se pertinente a necessidade de usar um receptor especificamente desenvolvido para o efeito, dotado de largura de banda e tempo de integração adequados.



1- Luís Cupido
Sócio da AMRAD.
Titular de CAN CEPT, indicativo CT1DMK
Doutoramento
Especialista em Diagnósticos com Microondas
Investigador do IPFN www.ipfn.ist.utl.pt
www.qsl.net/ct1dmk
Contacto: cupido@ua.pt