Deep Space...
Escutando nos 8.4GHz.

Luis Cupido – CT1DMK

Tudo começou quando em 2003, decidi, por graça, fazer um sistema de recepção para 8.4GHz que me permitisse "ver" como chegariam os sinais de algumas sondas espaciais, nomeadamente da NASA e da ESA. As distâncias a que estas sondas se encontram são desencorajadoras, mas, ao mesmo tempo, aguçam o apetite ao desafio daí pode advir.
Em conversa com amigos amadores alemães tomei conhecimento de algumas experiências que por terras germânicas se estavam a delinear no sentido de tentar receber as sondas em Marte, usando como base de trabalho uma antena de média dimensão abandonada da sua função original e agora possível de ser usada por amadores e suas experiências.
Tendo sempre em mente a pequenez da minha antena de 5.6m (lembro que tudo é relativo neste mundo!) lá fui fazendo umas contas que serviram para me convencer que, pelo menos as sondas mais próximas (em Vénus e Marte) poderiam ser recebidas. Porém, o melhor mesmo seria fazer o sistema de recepção para confirmar.

Não vou aqui neste pequeno artigo apresentar em detalhe as sondas que recebi nem os factos espaciais a elas associados. As notícias das diversas experiências bem sucedidas que realizei (pois as mal sucedidas não são notícia) foram já divulgadas em publicações várias. Podem, porém consultar a minha página na web em http://w3ref.cfn.ist.utl.pt/cupido/dsn.html onde tenho um resumo de todas as experiências..
Neste momento, é meu objectivo descrever a parte técnica e tentar mostrar os diversos desafios que se me depararam nesta pequena odisseia espacial.

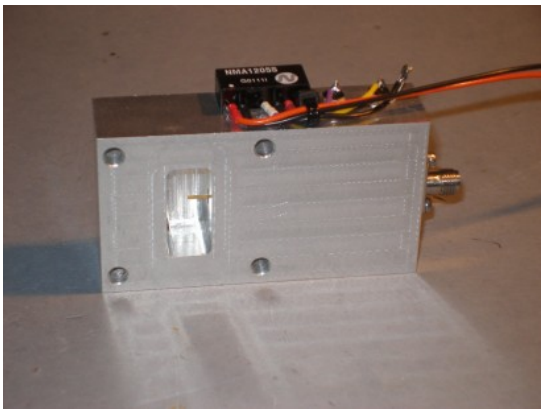
Para meu grande consolo uma das partes difíceis do sistema - a antena - já estava pronta a ser usada e calibrada à décima de grau, graças a vários anos de EME (Earth Moon Earth - reflexão lunar) nas faixas de 5.7 e 10GHz. Assim sendo, apenas necessitaria de construir um alimentador (feed) apropriado para 8.4GHz o que, à partida, também não seria difícil já que dispunha de alguma experiência em 10GHz.

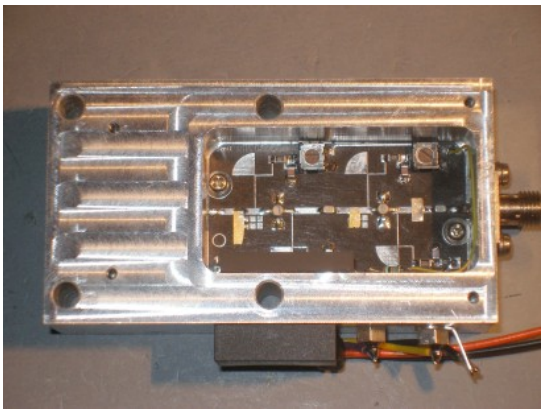
Iniciei o desenvolvimento pelo pré-amplificador. Como pretendia obter o mais baixo factor de ruído possível não tentei re-utilizar nada do que tinha nem adaptar nenhum andar de entrada de um LNB de satélite. Embora pudesse usar com alguma facilidade o pré-amplificador de um LNB, a sintonia deste poderia resultar num factor de ruído um pouco mais alto do que o que seria possível com o mais moderno transistor do momento:o NE32584.

Aqui aproveito para abrir um parentesis a propósito de LNBs e seus factores de ruído.

Os factores de ruído apresentados pelos fabricantes de LNBs não me parecem de todo corresponder à verdade. De facto, quase todos os LNB's que medi apresentavam sempre 0.2 a 0.3 dB acima do anunciado. Seria erro da minha calibração, erro na medida ou publicidade enganosa? Dificilmente tratar-se-ia de erro nas minhas medidas ou calibrações já que medidas radiométricas usando corpos a temperaturas diferentes não deixam grandes margens para dúvidas. Estas apresentavam sempre o mesmo resultado, cerca de 0.2 a 0.3dB acima do anunciado pelo fabricante (chegando em alguns casos a atingir os 0.5 dB a mais). Assim, tais erros não me poderiam ser atribuídos, uma vez que nenhum dos meus vulgares termómetros teria erros de 30 graus para que pudessem ter razão os fabricantes dos ditos LNBs. Há, no entanto, algumas honrosas excepções, nomeadamente em cabeças mais antigas como as da SPC e da Sweedish Microwave em que os números andavam mais próximos da verdade. Na realidade estes foram um conjunto importante de testes pois permitiram-me avaliar qual a performance do meu pré-amplificador para 8.4GHz relativamente ao que no mercado existia, embora este fosse para uma frequência ligeiramente inferior.

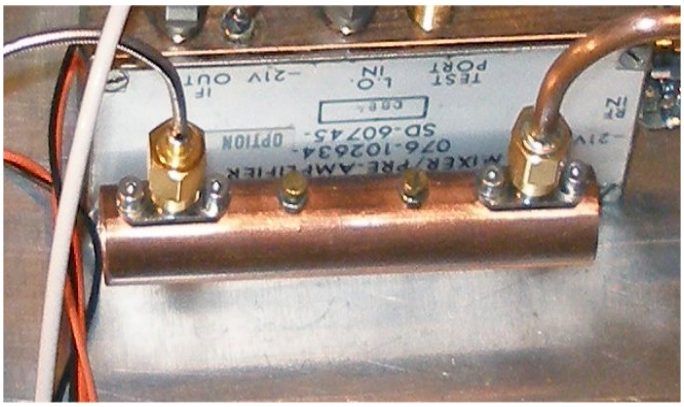
Fiz então um pré-amplificador com dois transistores GaAs FET da NEC do tipo NE32584 usando um substrato da Rogers RT4580 de 0.38mm. Apliquei o circuito numa caixa de alumínio frezada em que a abertura para o guia de onda WR90 estava igualmente cortada à freza mas do outro lado da caixa, como podem ver na fotografia.



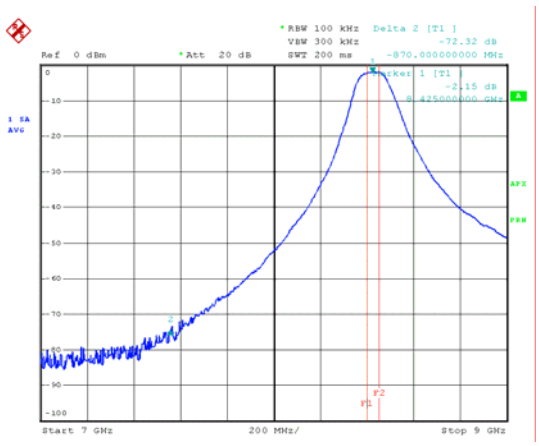


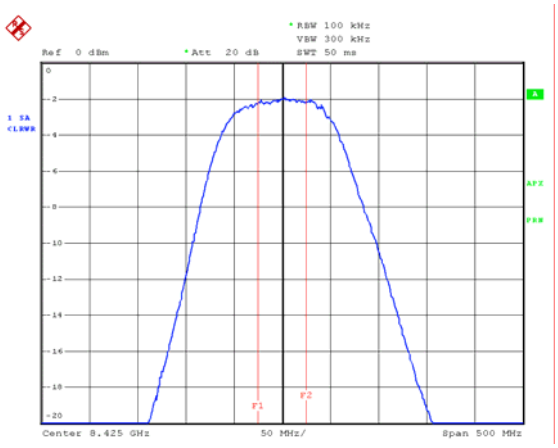
Com este pré-amplificador foi possível obter cerca de 25dB de ganho e cerca de 0.8dB de factor de ruído (lembro que se quisermos comparar com os valores dos fabricantes de LNB de satélite deveríamos subtrair uns 0.2 a 0.3 dB).

O sinal que sai do pré-amplificador deverá ser filtrado para rejeição da frequência-imagem que é igualmente recebida pelo conversor de frequência que se lhe segue. O filtro foi elaborado com recurso a uma mecânica muito simples e usando apenas materiais de fácil obtenção. Optei por um filtro de 3 ressoadores acoplados montados dentro de um tubo de cobre. Embora este filtro seja muito difícil de calibrar, dispõe de uma enorme flexibilidade pois tem ajuste dos três elementos ressonantes, bem como do acoplamento entre eles.



O resultado é simplesmente surpreendente: a banda passante é plana, as perdas de inserção são baixas e a atenuação fora de banda é fantástica. Não fosse a dificuldade na calibração e o equipamento necessário, este seria seguramente o tipo de filtro mais utilizado.





Os detalhes para a construção deste filtro encontram-se nas minhas páginas web.

O conversor poderia ser tão somente um misturador balanceado convencional, que funcionasse bem a 8GHz seguido de um amplificador com um MMIC, tal como por exemplo um MAR6 ou similar, para ajudar a vencer uns metros de cabo até ao receptor já dentro do shack. Todavia, durante a construção do equipamento encontrei numa feira da rádio (na banca do Luis Filipe CT1EAP) uns módulos de microondas que me pareceram interessantes para a faixa dos 8 a 10GHz. De facto, um destes era um conversor de frequência com amplificador tanto de RF como de FI e com misturador de rejeição de frequência-imagem. As frequências não eram exactamente as desejadas e para além do mais o módulo não estava a funcionar bem. Tratando-se de tecnologia híbrida em circuito feito com chips não encapsulados e fios de ouro ‘muito’ microscópicos, não seria imediato pôr o referido módulo a funcionar nos 8.4GHz como eu pretendia. Valeria a pena fazer um circuito de raiz e esquecer este? Não sei ao certo. Como disponho de

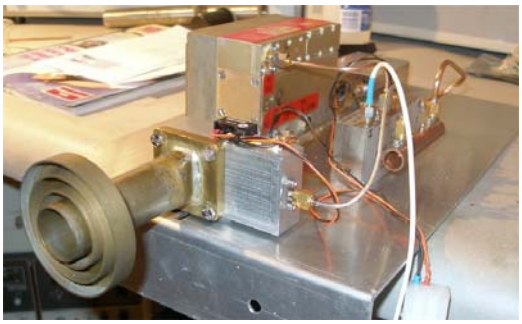
equipamento adequado a estas tecnologias deitei mãos à obra e em algumas horas, debaixo de microscópio lá foi possível fazer as modificações pretendidas.

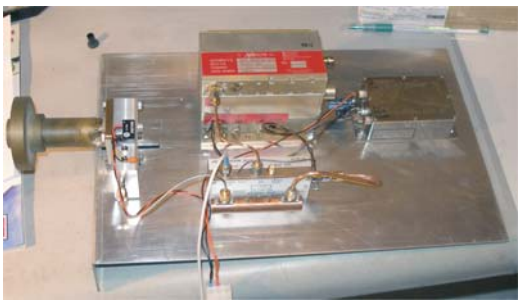
Usei, então, o conversor cuja saída funciona na banda de 70MHz e verifiquei que o mesmo possuía, agora, depois de modificado, características aceitáveis desde 40 a 100 MHz. Sendo um conversor com rejeição de frequência-imagem, o uso do filtro quase que seria dispensável, todavia mantive o filtro no sistema atingindo, deste modo, uma rejeição de frequência-imagem enorme.

O oscilador local é (em igualdade de circunstâncias com o pré-amplificador) um dos elementos-chave de um receptor para o DSN. Àquele oscilador é pedida uma pureza de sinal extrema, pois a detecção do sinal vai fazer-se no espectro com resoluções tão baixas como 1Hz. Assim, o oscilador local deverá ter um sinal tão ou mais puro do que a resolução que pretendemos obter. Uma vez que esperamos que os sinais estejam apenas alguns dB acima do ruído, podemos pedir que este oscilador local tenha um ruído de fase a 10Hz melhor que uns 20 a 30dB abaixo, para que de facto seja possível fazer a detecção dos sinais do DSN sem que estes sejam degradados internamente no receptor.
Aqui só há duas opções possíveis: ou se usa um oscilador de quartzo em cerca de 110MHz e um multiplicador de frequência com vários estágios ou se usa um oscilador de cavidade a cerca de 1GHz sincronizado em fase com um quartzo a 110MHz. Qualquer outra solução muito provavelmente não teria a qualidade pretendida (por exemplo, um oscilador com ressonador dieléctrico tal como existe nos LNB's é cerca de 500 vezes pior que as soluções referidas).
Optei, finalmente por usar um oscilador da MACOM para 7GHz depois de modificado e sintonizado para a frequência pretendida, o qual tive de dotar de controlo externo de frequência para a finalidade que mais adiante explicarei. Este oscilador designado usualmente como "brick oscillator" tem um oscilador de cavidade em cerca de 1.5GHz e um circuito de PLL que o sincroniza directamente a um oscilador de quartzo. Seguidamente, tem um multiplicador de frequência a diodos, com vários filtros e cavidades, e pouca amplificação já que o oscilador é um oscilador de potência (0.5W), técnica muito usada desde os anos 70 mas que ainda é difícil de ultrapassar com a mais moderna tecnologia actual.
Até aqui apenas referi o ruído de fase (muito embora a estabilidade de frequência também esteja incluída neste conceito) mas a precisão com que esta frequência é conhecida também é algo crucial. Não será possível encontrar um sinal se não se souber que este se encontra dentro de uma banda de 1 ou 2 kHz (dependendo da banda que poderemos visualizar simultâneamente no espectrograma quando este tem uma resolução de 1Hz, por exemplo). Assim é desejável ter uma certeza da frequência melhor que 500Hz a 8.4GHz . Saliento que isto é equivalente a pedir melhor que 8Hz em 144MHz ou seja não é nada fácil. O oscilador de quartzo de base deste sistema deverá então ser sincronizado com um padrão fiável como por exemplo um receptor de GPS, que foi o que eu usei. (igualmente nas minhas páginas web estão as infromações relativas ao reflock II e ao respectivo uso com um receptor de GPS, http://w3ref.cfn.ist.utl.pt/cupido/reflock.html)

O alimentador “feed” é um tradicional alimentador corrugado (vulgo, Chaparral) ajustável, como se pode ver na figura, que por sinal é o mesmo que uso em 10GHz EME.

Juntando tudo isto por forma a que possa ser instalado no ponto focal da antena fica o trabalho de “hardware” mais ou menos terminado.





No “shack” apenas necessito de um receptor (de qualidade) capaz de receber SSB na faixa de 40 a 100MHz. Eu uso o meu bem estimado NRD545 da JRC que será dos poucos receptores acessíveis ao amador com características capazes de permitir este tipo de escuta. Necessito igualmente de um PC onde tenho a correr um espectrograma para que seja possível identificar sinais de forma visual. Ao mesmo tempo, o PC permite gravar sinais para que possam ser processados mais tarde com software mais “pesado” onde eu possa fazer um processamento de sinal mais completo tal como integrar por períodos de tempo longos e corrigir variações de dopler, entre outras. (para isso eu uso o MatLab).

Após montar o conversor no ponto focal da antena há um conjunto de testes importantíssimos a fazer. A performance do sistema deve ser cuidadosamente aferida usando por exemplo a lua como referência. Assim, tanto os ajustes do ponto focal como os ajustes das corrugações do “feed” foram feitos maximizando o ruído da lua ao longo de vários dias. Quando atingi os 2.4dB acima do ruído cósmico resolvi parar e passar então à caça das ditas sondas, ou talvez à pesca não sei bem qual das duas expressões é mais sugestiva.

Os verdadeiros problemas de pontaria estavam então prestes a começar. Até aqui, quer o Sol (para uma verificação grosseira) quer a Lua são fáceis de encontrar no céu, e se estiver céu limpo torna-se muito fácil ter uma ideia se a antena está a apontar ou não correctamente.

Nas páginas web da NASA, mais propriamente no sistema SSD-Horizons, é possível obter as coordenadas celestes (ascensão recta e declinação) de objectos tal como as

sondas espaciais. Agora cada qual deverá traduzir isso em azimute e elevação para o seu local específico, bem como calcular o efeito doppler que os sinais das sondas sofrem.

Nos primeiros dias em que me dediquei única e exclusivamente à tentativa de recepção da MRO (Mars Reconaissance Orbiter) nada recebi e fui forçado a repetir exaustivamente os procedimentos de calibração do apontamento da antena bem como a aferição da frequência tentando perceber o que estaria efectiavamente errado. Na realidade nada estava verdadeiramente mal, apenas a precisão do apontamento estava desviada umas décimas de grau. Em 8.4GHz a minha antena de 5.6m tem apenas 0.3graus de largura de feixe o que torna o apontamento algo crítico... e eu ainda penso que 5.6m é muito pequeno para algumas destas experiências, imaginem o que será apontar uns 10m ou mais de parábola...

Com melhorada calibração, e com o apontamento da antena a ser todo efectuado por computador eu já me encontrava algo mais seguro de que agora seria muito provavelmente uma questão de erro na frequência ou o dopler adicional causado pelo movimento da MRO em torno de Marte.

Nesta altura havia já umas duas ou três estações amadoras a receber a MRO com antenas um pouco mais pequenas. Assim, eu tinha quase a certeza de que eu deveria estar igualmente em condições de receber estes sinais.
(curiosamente apenas estações europeias estavam a fazer tais experiências, não havendo nenhuma estação americana que tivesse tido qualquer sucesso).

Alguns dias depois, num fim de tarde, já com o sol posto e com o vermelho planeta claramente visível acima do horizonte fiz mais uma tentativa alargada de recepção, ficando mais de 10 minutos a olhar perplexo e imóvel para o écran sem nenhum sinal, cheio de ruído, após ter verificado vezes sem conta que estava na frequência certa e com a antena devidamente apontada. De repente, e sem fazer nada aparece mesmo a meio do espectro um sinal que em cerca de 1 minuto estabilizou a estonteantes 30dB acima do ruído. Foi então que percebi que uma conjugação de azares me tinha levado a fazer algumas tentativas nos momentos em que a MRO se encontrava oculta do doutro lado do planeta vermelho ou quando o sistema de facto não estava a funcionar convenientemente.

Com tanto sinal, mais do que o que eu esperava, (o que confirma que antenas mais pequenas o possam igualmente receber), fiquei logo numa perspectiva de DX e de ir à procura de tudo o que mais por lá em cima houvesse.

Recebi nesses dois a três meses seguintes as outras sondas em Marte, a VEX (Venus Eexpress) na órbita de Vénus e mais umas quantas sondas mais próximas da terra embora a caminho de Júpiter ou de Plutão.

O verdadeiro DX estava na recepção da Cassini em Saturno pois a outra mais distante, a Voyager I, seria seguramente impossível para um amador, pensei eu na altura.

O resto da história já vocês a sabem, foi ainda antes de eu tentar a recepção da Cassini que tentei receber a Voyager I na sequência de ter ouvido falar da tentativa por parte de uma equipa de amadores a bordo do rádio-telescópio de Bochum na Alemanha que me deixou dois dias a fazer contas e a idealizar um processamento de sinal capaz de efectuar uma medida dum sinal que se esperava 20dB abaixo do ruído, tornando assim possível receber na minha pequena antena o sinal vindo do sítio mais longe onde a mão humana chegou.
Foi a 14 de Abril de 2006 quando a Voyager I estava a 14 mil milhões de km (98 vezes a distância da terra ao Sol ou 3 vezes a distância do Sol a Plutão).

As sondas em Marte, em Vénus e nas imediações da Terra desde a órbita de Mercúrio à órbita de Júpiter são possíveis de receber com antenas de cerca de 3m de diâmetro, o que não será muito difícil para alguns de vós tentar mais esta variante do radioamadorismo. Deixo-vos aqui a tabela com as frequências das sondas mais interessantes.

DSN tracking spreadsheet *M0EYT / CT1DMK*	**Info OK ?**	**DSN**	**Spacecraft TX**
Mission Name		**Channel**	**frequency (MHz)**
Mars Odyssey -53	Y	8	8406.851853
Hayabasu -130 / Ulysees -55	Y	9	8408.209877
Spitzer (SST) -79	Y	--	8413.626490
SIRTF		13	8413.641977
Voyager 1 aux		--	8414.995000
Mars Observer / Voyager	Y	14	8415.000000
Mars GS 1 coherent		16	8417.716050
Venus Exp	Y	17	8419.074073
Voyager 1 main	Y	--	8420.428000
Mars Express / Voyager -31 / -32	Y	18	8420.432097
Rosetta	Y	19	8421.790123
Mars GS 2 non-coherent		20	8423.148147
MGS	Y	--	8423.177000
Kepler	Y	--	8423.331100
Kepler	Y	--	8425.681100
Magellan		22	8425.864198
Mars Pathfinder / Cassini / Stardust non-coherant	Y	23	8427.222221
Giotto -78		24	8428.580248
Mars Pathfinder / Cassini / Stardust		25	8429.938271
Mercury Mesenger -236	Y	--	8432.647320
NEAR -93 (one-way noncoherent) / Deep Impact / DAWN		29	8435.370372
New Horizons noncoherent -98	Y	30	8437.894737
NEAR -93		--	8438.086418
New Horizons coherent -98	Y	31	8438.181818
New Horizons coherent (new) -98	Y	--	8438.243000
Mars RO -74	Y	32	8439.444446
Stereo A/B	Y	35	8443.518520
Stereo A/B	Y	37	8446.234570