

2 Receptores de microondas com aplicações em DE

2.1. Introdução

O objetivo deste capítulo é introduzir os diversos tipos de receptor de DE, apresentando, de forma sucinta, sua classificação e as principais características, vantagens e desvantagens de cada topologia. Ao final, é apresentado o diagrama de blocos de uma proposta de receptor digital empregando divisores de frequência por dois como conversores de frequência.

2.2. Revisão histórica

Desde que o radar foi inventado durante a Segunda Guerra Mundial voltado para aplicações militares, sua aplicação tem sido expandida rapidamente por outras áreas. Hoje, o radar é utilizado em aeroportos para guiar aeronaves a um pouso seguro em condições de nevoeiro e tempestades. As aeronaves e embarcações também usam o radar como sistema de guiagem em meio a baixas condições de visibilidade. Os meteorologistas apresentam mapas, diariamente, da previsão do tempo na televisão. Nas aplicações militares, o radar se tornou uma peça vital do equipamento. Este tem sido usado não apenas na busca e detecção de aeronaves, navios e veículos hostis, mas, também, para guiar armamentos.

Em operações militares, desde que um dispositivo ou sistema novo seja desenvolvido, outro será inventado para contrapor-se ao primeiro. O desenvolvimento do radar não foi exceção. Desde que o radar foi introduzido na Segunda Guerra Mundial, formas de interferir neste e diminuir a sua eficiência têm sido investigadas. Estes procedimentos são chamados, geralmente, Contra-Medidas-Eletrônicas (CME), numa nomenclatura mais antiga, ou Medidas de Ataque Eletrônico (MAE), numa linguagem atualizada. Nuvens de *Chaff* (material metalizado cortado em pequenos pedaços, de sorte que ao serem liberados na atmosfera formam uma nuvem que bloqueia e/ou despista o sinal radar) e bloqueadores (transmissores de ruído de potência elevada na frequência do sinal radar) são métodos populares de se inibir um radar hostil. Para se interferir,

eficazmente, em um radar, deve-se pelo menos saber se este é um radar alvo. Portanto, um receptor de Defesa Eletrônica (DE) (também chamado de receptor de interceptação) é necessário para detectar a existência de sinais radares hostis.

Usualmente, uma informação detalhada do radar hostil não está disponível. Então, é impossível se projetar um receptor de interceptação tão eficaz quanto o receptor do radar. Contudo, a intensidade de sinal na entrada do receptor de interceptação é muito maior do que aquela do receptor radar porque a distância viajada pelo sinal radar de sua fonte de origem do receptor de interceptação é metade da distância da fonte de origem ao receptor radar e irá depender da quantidade de energia refletida do alvo em sua direção, como é mostrado na Figura 1. Portanto, se um receptor de interceptação for projetado de forma apropriada, este pode detectar o sinal radar eficazmente.

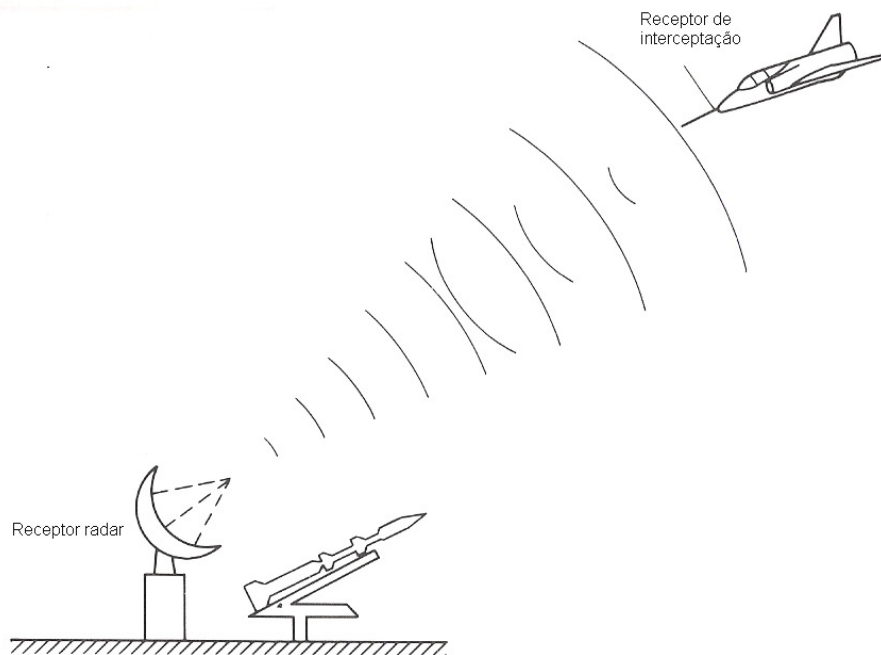


Figura 1: Representação de um cenário com um receptor radar e um receptor de interceptação.

O meio-ambiente de sinal eletrônico tem se tornado mais complexo à medida que a tecnologia radar tem-se desenvolvido. Existem mais radares em operação, e, ainda, os sinais radar estão mais sofisticados, mais complexos. Como resultado, os receptores de interceptação, usados para detectar os sinais radar devem ser sofisticados o bastante para se lidar com sucesso com estes [1].

2.3. Unidades básicas de um sistema de recepção de DE

Um sistema de recepção de sinal contém as seguintes unidades: uma antena, um receptor, um processador de sinal, e algum mostrador. O aparelho de televisão ou um rádio é um bom exemplo de sistema de recepção. A antena acopla a energia eletromagnética do espaço-livre e alimenta a entrada do receptor.

As unidades funcionais básicas de um sistema de recepção de DE são apresentadas na Figura 2. O receptor recebe sinais de rádio-frequência (RF) e gera saídas de vídeo. O digitalizador converte as saídas de vídeo em informação digital. O processador analisa a informação digital gerada pelo receptor para extrair a informação necessária. O mostrador apresenta esta informação de forma visual ou audível ao operador. Algumas vezes as saídas do processador podem controlar alguma unidade com uma função especial que tomará uma ação necessária, automaticamente, como acionar um equipamento interferidor.

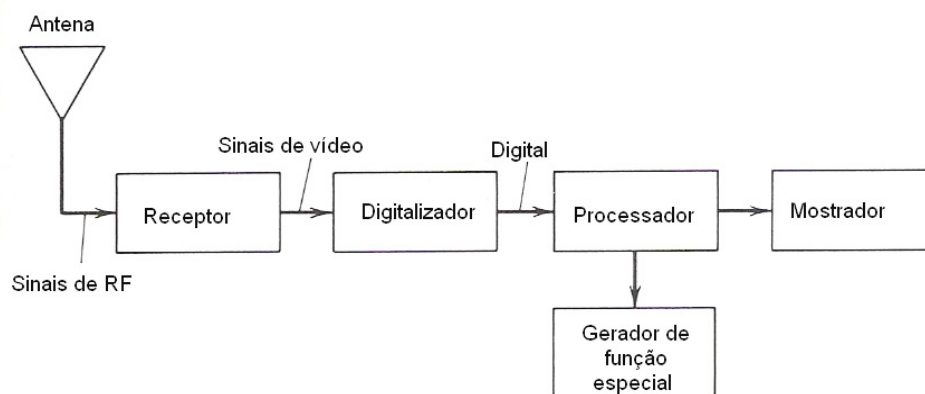


Figura 2: Representação esquemática de um sistema de recepção básico de DE.

A unidade digitalizadora que se segue ao receptor, e é mostrada na Figura 2, pode ser considerada como parte do receptor ou como parte do processador de sinal.

2.4. Classificação dos receptores de DE devido à sua aplicação

De acordo com suas aplicações, os receptores de GE podem ser classificados como Receptores de Alerta Radar (RWRs), Receptores de “Endereçamento” (*homing*) e Alerta Radar (RHWRs), Receptores de Contra-Medidas-Eletrônicas (CME) ou Medidas de Ataque Eletrônico (MAE),

Receptores de Medidas de Apoio a Guerra Eletrônica (MAGE) e Receptores de Inteligência Eletrônica (ELINT).

2.4.1. Receptores RWR

Um RWR é usado para detectar um radar associado a uma arma e provém um alerta ao operador. Um radar de controle de armas torna-se uma ameaça, por exemplo, a uma aeronave somente quando o lóbulo principal do transmissor radar é direcionado à aeronave. Já que há uma energia substancial no lóbulo principal do radar, um receptor com uma sensibilidade moderada é suficiente. O conhecimento da frequência do radar hostil irá fornecer informação útil para os processos de identificação e classificação. Contudo, não é essencial se ter uma informação de frequência refinada para a aplicação de alerta. De forma a cobrir todas as ameaças, o receptor deve ter uma banda de frequência e uma cobertura espacial largas.

2.4.2. Receptores RHWR

A função de um receptor RHWR é quase idêntica a de um RWR. No entanto, em acréscimo a função de alerta, o receptor inclui a função de “endereçamento” que irá prover uma guiagem passiva até o radar hostil. A informação passiva de distância ou de localização é normalmente necessária para operações fora da plataforma alvo e lançamento de armas. Para que a função de “endereçamento” seja realizada, o receptor tem que gerar uma informação de ângulo-de-chegada (AOA) bastante acurada. A cobertura angular instantânea e a banda de cobertura em frequência da função de “endereçamento” não necessitam ser muito larga. Contudo, para a função de alerta, tanto a cobertura em frequência quanto a angular tem que ser larga.

2.4.3. Receptor CME ou MAE

Um receptor CME ou MAE provém informação a um interferidor para que este realize a sua função da forma mais eficiente possível. Para concentrar a energia do interferidor na direção do radar vítima, as informações acuradas de frequência e ângulo-de-chegada são necessárias. Outro fator importante de um

receptor CME ou MAE é que este deve medir o sinal de entrada o mais rápido possível, de forma que o interferidor possa ser configurado com os parâmetros desejados e interfira no mesmo pulso que esteja recebendo. Assim, o receptor sempre obtém todas as informações no flanco de subida do pulso radar recebido. O receptor precisa cobrir apenas a frequência e faixa angular do radar vítima.

2.4.4. Receptor MAGE

Um receptor MAGE é utilizado para se obter todas as informações de uma ordem de batalha eletrônica (OBE). Em outras palavras, o receptor deve coletar informações de todos os radares presentes (ativos) no campo de batalha. Portanto, o receptor deve cobrir uma banda de frequências larga e uma faixa angular extensa. Para que o receptor detecte radares que não estão direcionados a este, os lóbulos laterais do radar devem ser detectados. Desta forma, a sensibilidade do receptor tem que ser muito boa a fim de prover informação suficiente para um processador de sinal classificar o meio-ambiente radar, o receptor deve medir todos os parâmetros do sinal de entrada com uma resolução muito boa. Em particular o receptor tem que possuir resoluções de frequência e angular muito refinadas.

2.4.5. Receptor ELINT

Um receptor ELINT é usado para receber sinais especiais, isolá-los, e realizar uma análise muito precisa nestes. A faixa de frequência deve ser larga o suficiente para cobrir todos os sinais de interesse. Contudo, a banda instantânea do receptor precisa ter apenas a largura necessária para trabalhar com alguns sinais de interesse. O receptor tem que realizar medidas extremamente precisas de todos os parâmetros do radar hostil. Se os dados não puderem ser analisados na estação de coleta, este pode armazenar os dados e analisá-los posteriormente. Então, o receptor não possui um processamento de sinal em tempo-real, como os outros receptores apresentados.

2.5. Classificação dos receptores analógicos de DE devido à sua estrutura

De acordo com as suas estruturas; os receptores podem ser classificados como:

- cristal vídeo,
- superheteródino,
- medida de frequência instantânea (IFM),
- canalizado,
- compressivo (microvarredura), e
- receptor a célula de Bragg.

Tabela 1: Resumo das características dos receptores analógicos de GE

Característica	Receptor					
	Canalizado	Compressivo	Célula de Bragg	IFM	Cristal vídeo	Superheteródino
Banda de frequência instantânea	boa	boa	boa	excelente	excelente	pobre
Capacidade de lidar com sinais simultâneos	boa	boa	boa	pobre	pobre	pobre
Resolução de frequência	boa	boa	boa	boa	pobre	excelente
Sensibilidade	boa	boa	aceitável a boa	aceitável a boa	variável	excelente
Faixa dinâmica	boa	aceitável a boa	aceitável	aceitável a boa	aceitável	excelente

Os receptores a cristal vídeo e superheteródino podem ser considerados em estágio de tecnologia aprovada e pronta. O receptor IFM pode ser considerado bem desenvolvido. Os receptores canalizados, compressivos e a célula de Bragg estão, ainda, em variados estágios de desenvolvimento. Cada um tem a sua própria

figura de mérito. Na Tabela 1 pode-se observar as estimativas qualitativas para cada um dos tipos de receptor.

Esta classificação pode ser considerada de alguma forma arbitrária. Por exemplo, o receptor canalizado pode usar a técnica de superheterodinagem e um receptor digital pode usar um processo de canalização [2].

2.5.1 O receptor a cristal vídeo.

O receptor a cristal vídeo é o mais simples em estrutura entre todos os receptores de DE. Este foi também o primeiro receptor de microondas desenvolvido. Este tipo de receptor pode cobrir uma banda extremamente larga, mas não pode determinar a frequência do sinal de entrada. Este pode dizer apenas que existe energia de microondas pulsada na banda de entrada do receptor. O parâmetro frequência é considerado um dos mais importantes em DE.

Este receptor não pode detectar sinais simultâneos ou sobrepostos no tempo. As dimensões deste tipo, de receptor são bem diminutas sendo apropriadas ao emprego em DE.

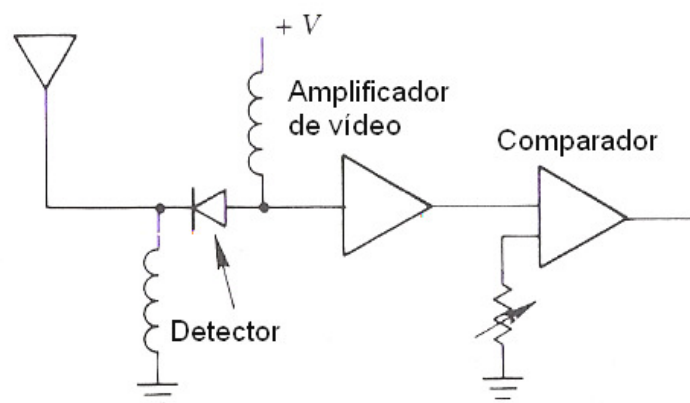


Figura 3: Representação esquemática de um receptor básico de cristal vídeo.

O componente eletrônico chave de um receptor a cristal vídeo é o detector a cristal ou a diodo. O esquema de um receptor simples é mostrado na Figura 3. A saída de uma antena alimenta diretamente um detector. Após este está um amplificador de vídeo que amplifica a saída do detector e entrega o sinal de vídeo para a entrada do comparador. Um sinal de entrada com potência suficiente irá exceder o limiar do comparador e será detectado. Sem o amplificador de vídeo, o

sinal de vídeo proveniente do detector é quase sempre muito fraco para ser encaminhado diretamente ao comparador.

Em geral, a sensibilidade do receptor depende das propriedades do detector a cristal e da figura de ruído do amplificador de vídeo. Em outras palavras, a sensibilidade é limitada pelo ganho de RF ao invés do ruído no receptor. Esta é a razão para esta característica estar assinalada como variável na Tabela 1. Comumente busca-se incrementar a sensibilidade, melhorando-se as propriedades do detector a cristal e reduzindo-se a figura de ruído do amplificador de vídeo. É claro que, a forma mais efetiva é adicionar-se amplificadores de RF antes do detector. Com o progresso da tecnologia tornou-se bem factível este procedimento, pois se pode encontrar amplificadores com banda extremamente larga, atualmente.

2.5.2. Receptor super-heteródino

O receptor superheteródino usa uma idéia muito inteligente para melhorar a sensibilidade e a seletividade de um receptor. O circuito superheteródino inventado por Edwin H. Armstrong em 1918 aumentou a sensibilidade de um receptor adicionando-se amplificação em uma frequência menor. Este procedimento transforma linearmente o sinal de RF de entrada em uma frequência menor, onde amplificadores e filtros de banda estreita estão disponíveis. A informação contida no sinal de entrada será mantida, já que a transformação é linear. Os amplificadores podem melhorar a sensibilidade do receptor desde o caso limitado pelo ganho até o caso limitado pelo ruído, e os filtros limitarão a banda de ruído. Aumentando-se o ganho de amplificação e reduzindo-se o piso de ruído aumenta-se enormemente a sensibilidade do receptor.

Embora, o receptor superheteródino tenha uma sensibilidade muito boa, seletividade e faixa dinâmica grandes, ele tem uma banda de frequência muito estreita. Portanto, a probabilidade de interceptação (POI) destes receptores é muito baixa. Desta forma, estes receptores são usados para isolar um sinal de entrada e medir a sua frequência de uma forma muito precisa já que é relativamente fácil realizar-se o casamento de fase entre dois receptores superheteródino idênticos, pois suas bandas são estreitas, eles são empregados em

interferômetros de fase para se medir o ângulo-de-chegada (AOA) dos sinais de entrada.

Na Figura 4 é apresentado um receptor superheteródino básico. Para se transformar linearmente a frequência de entrada em um receptor superheteródino, dois componentes de microondas básicos ou subsistemas são necessários. Eles são um misturador e um oscilador local. Os outros componentes são um filtro em frequência intermediária (FI), um amplificador de FI, e um detector de vídeo.

Para cobrir uma faixa de banda de entrada mais larga, o receptor pode ser feito para varrer uma certa banda em uma taxa rápida, repetidamente. Este tipo de receptor é chamado receptor superheteródino em varredura. Falando de forma restrita, este receptor não melhora a POI, mas ele cobre uma largura de banda mais larga em uma taxa regular.

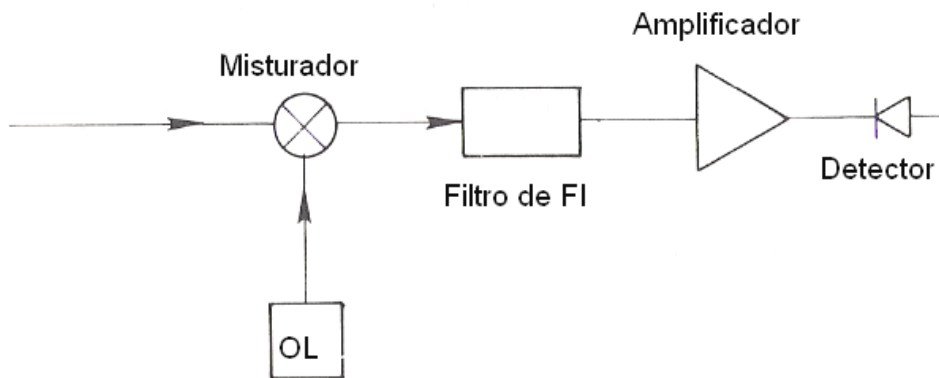


Figura 4: Representação esquemática de um receptor super-heteródino básico

Um tipo especial de receptor superheteródino é o receptor homódino. Este tipo de receptor tem também um misturador e um oscilador local (OL) para converter o sinal de entrada para uma FI menor. A principal diferença entre um receptor superheteródino e um homódino está no OL. Em um receptor homódino, a frequência de OL é derivada a partir do sinal de entrada como mostrado na Figura 5. Neste circuito, o sinal de entrada é dividido em dois caminhos. Uma parte do sinal é usada para misturar com um oscilador de frequência f_i para gerar a frequência de OL ($f_R + f_i$). Esta frequência de OL é, então, misturada com o sinal de entrada f_R para produzir um sinal de FI f_i . O misturador número dois deverá suprimir a frequência ($f_R - f_i$), este é um misturador de rejeição de imagem.

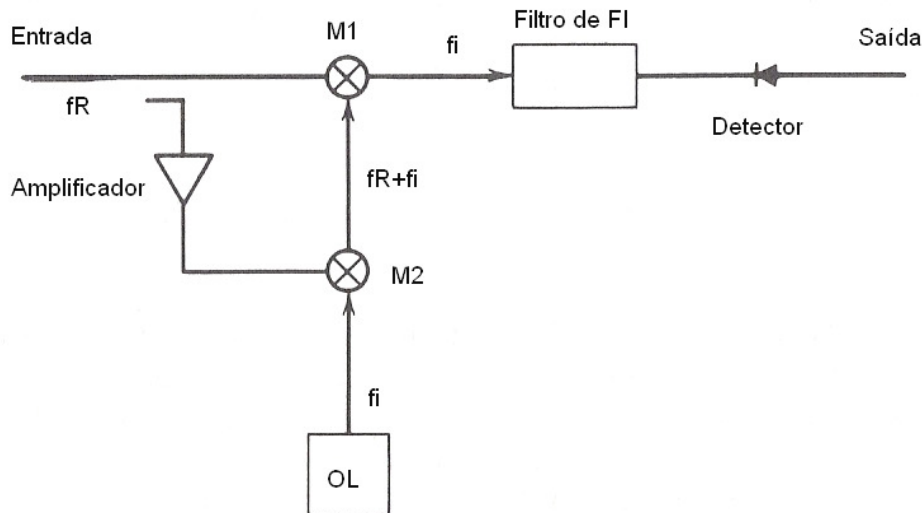


Figura 5: Representação esquemática de um receptor homódino básico.

Se não houver sinal de entrada, os dois misturadores irão isolar a frequência fixa f_i de atingir o filtro de FI. Este receptor pode cobrir uma banda de frequências de entrada muito larga. Porém, a informação de frequência é perdida.

Uma aplicação potencial para este tipo de receptor é a detecção da existência de sinais de espectro espalhado. Por exemplo, sinais de frequência variável ou sinais codificados em fase são difíceis de serem detectados por um receptor convencional porque apenas uma parcela do sinal está presente na largura de banda de entrada de um receptor de interceptação. Em um receptor homódino um sinal de largura de banda grande será detectado como um sinal pulsado com uma frequência de portadora singela.

2.5.3. Receptor de medida de frequência instantânea

Um receptor IFM foi apresentado pela primeira vez por Earp em 1948. A informação de saída deste receptor era apresentada em coordenadas polares em uma tela. O ângulo do mostrador polar representava a frequência do sinal de entrada e a amplitude representava a potência do sinal. Embora, os receptores IFM modernos continuam usando o mesmo princípio de operação, os parâmetros do sinal são representados em formato digital.

Um receptor IFM não pode processar sinais simultâneos; contudo, este receptor é muito atraente em termos de largura de banda instantânea, acurácia de medida de frequência, dimensões, peso e custo [2]. Este tipo de receptor pode

medir frequência com uma acurácia RMS de 0,017 % da banda de RF instantânea. Eles são produzidos em uma variedade de larguras de banda de frequência instantânea, incluindo 50-500 MHz; 750-1250 MHz; 0,500-2 GHz; 2-6 GHz, 2-18 GHz, etc. A faixa dinâmica instantânea é de 70 dB, tipicamente, com uma resolução de amplitude de 0,4 dB. Os primeiros receptores IFM podiam gerar medidas errôneas de frequência na presença de sinais simultâneos separados de 20 dB em amplitude. Os receptores atuais são capazes de processar acuradamente sinais de RF simultâneos com separação de potência de 8 dB, e podem alertar a possibilidade de erros devido a sinais simultâneos. Podem operar com sinais pulsados de 50ns ou mais [3-4].

Basicamente, um receptor IFM utiliza a propriedade não linear dos detectores a cristal de gerar a autocorrelação do sinal de entrada. O correlator (ou discriminador de frequência) é o coração de um receptor IFM. A configuração básica de um IFM é mostrada na Figura 6. A linha de retardo com um atraso no tempo de τ em combinação com o correlator geram a autocorrelação do sinal de entrada com este atrasado de τ , que pode ser usada para determinar a frequência de entrada.

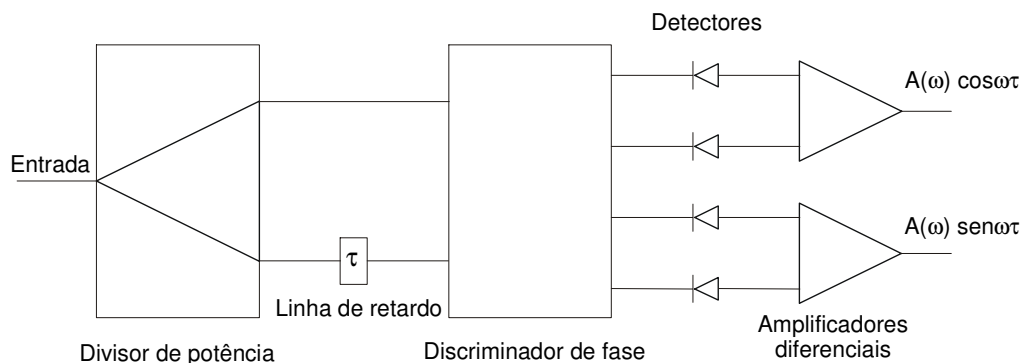
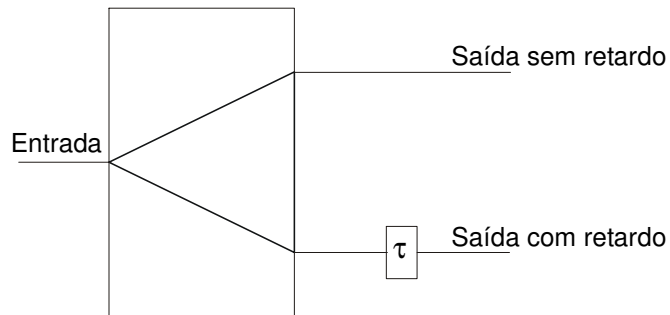


Figura 6: Representação esquemática de um receptor IFM Básico

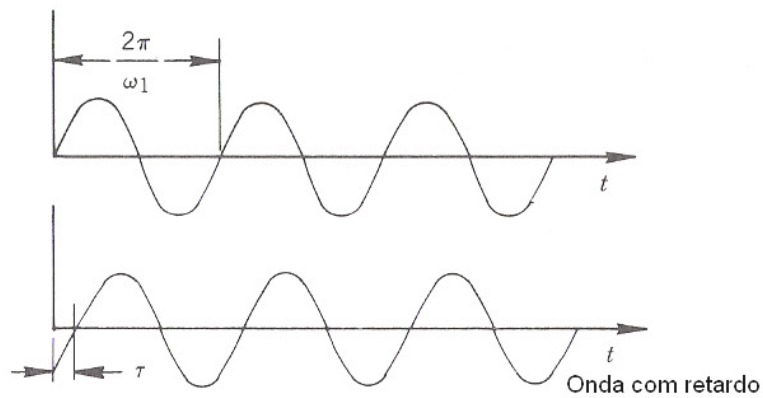
Em um receptor real, existem quatro detectores a cristal no correlator. Estes detectores têm 15 dB de faixa dinâmica. A fim de aumentar a faixa dinâmica do receptor para uma frequência singela, um amplificador limitador é usado na entrada do correlator. O amplificador limitador é um dispositivo não-linear. Se há apenas um sinal, a saída amplificada do dispositivo não-linear é o sinal verdadeiro. Este sinal é medido pelo receptor. Se existem vários sinais na entrada do amplificador limitador, o efeito não-linear não pode ser negligenciado. Como resultado, as saídas do correlator não serão a autocorrelação desejada no caso de

múltiplos sinais. Esta é uma das principais dificuldades em resolver o problema de sinais simultâneos neste tipo de receptor.

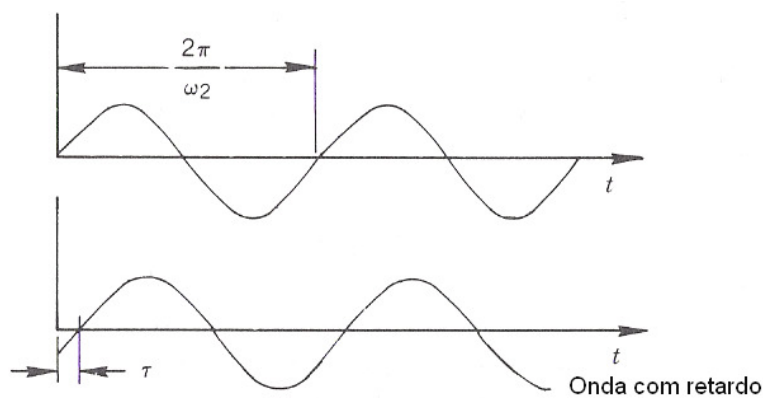
2.5.3.1. Princípio de operação



a)



b)



c)

Figura 7: Relação de fase de ondas senoidais com retardo de tempo constante; a): caminho do sinal; b): freqüência mais elevada; c): freqüência mais baixa.

Um receptor IFM compara as fases dos sinais gerados a partir do de entrada que é dividido e levado a atravessar diferentes linhas de retardo, como estas defasagens são dependentes da frequência do sinal de entrada. Uma onda senoidal e dividida por dois caminhos, um caminho é atrasado de um tempo constante em relação ao outro, como mostrado na Figura 7a. Existe uma diferença de fase entre as duas saídas causadas pelo retardo de tempo constante. A diferença de fase é dependente da frequência como evidenciado pelas Figuras 7b e 7c que mostram o efeito do mesmo tempo de retardo para duas ondas senoidais de frequências diferentes, o ângulo de fase é maior na de frequência superior. O ângulo de fase relativo entre as ondas atrasadas e não atrasada é:

$$\theta = \omega \cdot \tau \quad (1)$$

Em um receptor IFM, a frequência do sinal de entrada é determinada pela medida da sua diferença de fase. Se a fase é medida e a constante de tempo τ é conhecida, a frequência pode ser determinada por meio da equação (1).

Em um receptor IFM, o ângulo de fase θ é medido usando as relações:

$$E = A \cdot \sin \theta \quad (2)$$

$$F = A \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Onde E e F são duas tensões e A é a amplitude do sinal de entrada. O ângulo de fase pode ser determinado a partir das amplitudes de E e F. Num receptor IFM prático, a maior parte do circuito é para produzir as relações dadas por (2) e (3). Em alguns dos primeiros receptores IFM, as tensões E e F eram medidas nos eixos X e Y de um osciloscópio. Sendo o traço do ponto (x,y) um círculo. O raio do círculo representa a amplitude do sinal, e o ângulo no display polar representa o ângulo de fase por que:

$$\theta = \tan^{-1}(E/F) = \omega\tau \quad (4)$$

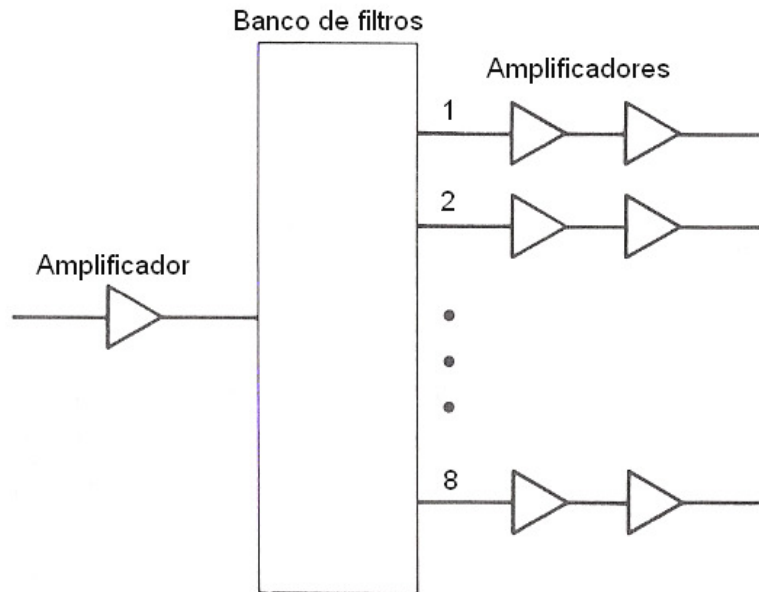
Em um receptor IFM moderno, a informação de amplitude nas equações (2) e (3) é geralmente eliminada através de um amplificador limitador e apenas a informação de frequência é retida. Então, os resultados das equações (2) e (3) são usados apenas para gerar uma informação digital de frequência.

2.5.4. Receptores canalizados

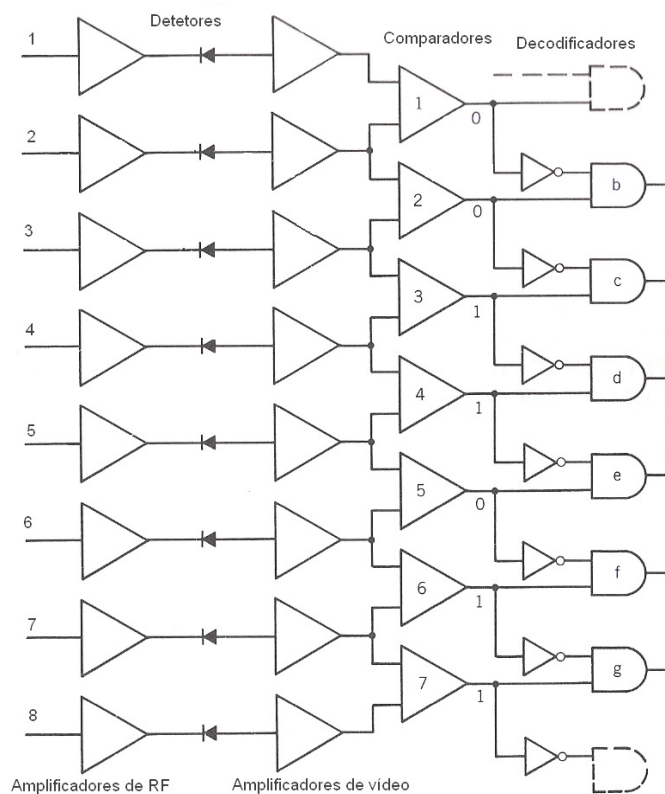
A idéia do receptor canalizado é muito simples e esta utiliza um banco de filtros para separar os sinais com diferentes frequências. São utilizados amplificadores após os filtros para se melhorar a sensibilidade do receptor. Estes amplificadores localizados após o banco de filtros podem melhorar a sensibilidade sem afetar a faixa dinâmica. Já que no máximo um sinal aparece em um canal após o banco de filtros, não há problemas de intermodulação. Se dois sinais ocorrem em um único canal, o receptor se encontra além da sua capacidade e irá gerar uma informação de frequência errônea. Dois tipos de amplificadores são, freqüentemente, usados: amplificadores limitadores (ou amplificadores lineares empregados no nível de saturação) e amplificadores logarítmicos de vídeo. Estes últimos podem ser utilizados para medir-se a informação de amplitude do pulso nas saídas do banco de filtros. Quando se utilizam amplificadores limitadores, a informação de amplitude é perdida, sendo assim, esta deve ser medida em outra parte do receptor.

No receptor canalizado todas as saídas estão em paralelo, o que requer uma quantidade muito grande de componentes. Na Figura 8 é mostrado um exemplo de receptor canalizado.

O banco de filtros é um dos componentes de RF mais importantes nos receptores canalizados. Eles devem ter baixa perda de inserção para não comprometer a sensibilidade do sistema. Tanto a resposta de frequência quanto à de tempo são importantes. Outras características necessárias são dimensões reduzidas e variação com a temperatura pequena. Os filtros empregados, geralmente são: os filtros de ondas-acústicas-de-superfície (SAW) com divisores de potência, os bancos de filtros SAW, os filtros de elementos concentrados, os filtros dielétricos e os filtros de onda magnetostática.



(a)



(b)

Figura 8: Representação esquemática de um receptor canalizado; a: Entrada do receptor (banco de filtros e amplificação); b: Detectores, amplificadores de vídeo, comparadores e decodificação de frequência.

O circuito de codificação da frequência é o mais importante de um receptor canalizado. Este circuito tem que determinar a frequência central de um sinal e

descartar os lóbulos laterais, este deve ser capaz de codificar sinais simultâneos. São utilizados vários conceitos de projeto destes codificadores. Os mais simples comparam as saídas de canais adjacentes. A frequência central será aquela do canal que possuir maior potência que os seus dois canais adjacentes. Nestes sistemas o ganho dos diferentes canais deve ser balanceado. Se o ganho de um canal muda, todos os canais têm que ser reajustados, já que canais desbalanceados causarão falso alarme. Os canais devem ser sobrepostos para evitar a perda de sinal.

Quando a faixa dinâmica instantânea é muito grande, este tipo de receptor tem problemas, pois é muito difícil construir-se um receptor com inúmeros canais balanceados sendo ainda, mais penoso manter este balanceamento. Quando a faixa dinâmica instantânea for da ordem de 15 dB, pode-se trabalhar com uma folga maior, já que os lóbulos laterais serão descartados, facilmente.

A técnica mais empregada, atualmente, para determinação se um sinal está presente ou não em certo filtro, utiliza uma análise no domínio do tempo (o efeito transiente) do sinal que passa por um dado filtro. São projetados circuitos capazes de medir a forma da saída do filtro e compará-la segundo um critério pré-estabelecido para que o sinal seja considerado na faixa de certo filtro.

2.5.5. Receptor compressivo ou de microvarredura

Este tipo de receptor recebe o nome de receptor compressivo devido a uma linha de retardo dispersivo (DDL) que é usada para comprimir o sinal de entrada de radiofrequência (RF) para um pulso estreito. É também chamado de receptor de microvarredura porque um oscilador local (OL) de varredura rápida é utilizado para converter os sinais de entrada em sinais modulados em frequência (FM). A idéia de se usar uma DDL para medir frequência foi patenteada em 1960 por W.D.White. Os avanços na tecnologia de ondas-acústicas-de-superfície (SAW) e circuitos lógicos de alta velocidade têm revitalizado o interesse no desenvolvimento de receptores compressivos.

Um receptor compressivo é um receptor de banda larga com uma resolução de frequência estreita. Ele possui a capacidade de processar sinais simultâneos. Enquanto, as saídas detectadas de um receptor canalizado são paralelas, as de um receptor compressivo são pulsos estreitos chegando em série no domínio do

tempo. É realizada uma transformada de Fourier dos sinais de entrada. Pela medida da posição destes pulsos comprimidos, a frequência dos sinais de entrada pode ser determinada. Já que os pulsos detectados são muito estreitos e muito próximos no tempo, são necessários circuitos lógicos de alta velocidade para processá-los.

A pesquisa e os esforços de desenvolvimento em receptores compressivos têm sido concentrados nas linhas de retardo dispersivas e nos osciladores locais de varredura. Embora, existam melhorias a ser realizadas nestas áreas, a maior deficiência neste tipo de receptor está nos circuitos digitalizadores que têm como sinais de entrada as saídas de vídeo detectado e geram palavras digitais para representar os parâmetros dos sinais de RF de entrada. Embora, receptores compressivos experimentais demonstraram que os circuitos digitais podem ser realizados, ainda há espaço para melhoramentos. Ainda que, estes circuitos devam operar em uma velocidade igual a largura de banda do receptor. Esta banda é limitada, em geral, pela linha de retardo dispersivo.

Representação esquemática de um receptor compressivo é apresentada na Figura 9. O sinal de entrada é convertido em um sinal de frequência variável através de um misturador alimentado por um oscilador local (OL) varrido (modulado em frequência). O sinal variável em frequência é comprimido em pulsos estreitos ao passar por uma linha de retardo dispersiva. Estes pulsos são convertidos em sinais de vídeo em um amplificador logarítmico de vídeo. O circuito de vídeo tem que ter uma banda de frequência muito larga para que possa processar os pulsos de vídeos estreitos. A posição no tempo de cada pulso relativa ao ponto de início da varredura do oscilador local representa a frequência correspondente do sinal de entrada.

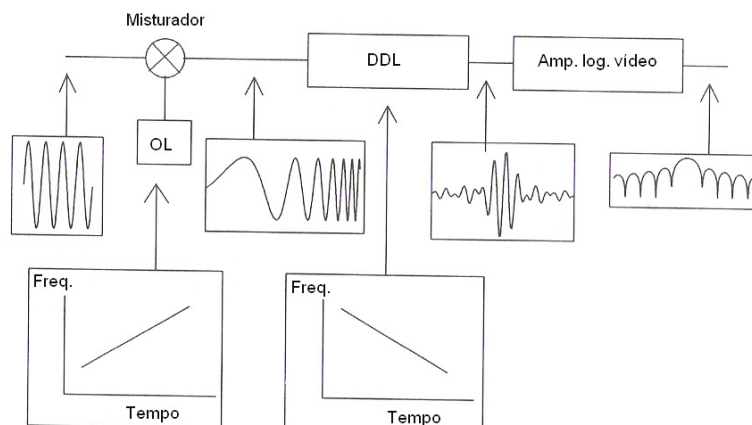


Figura 9: Representação esquemática de um receptor Compressivo Básico

Cada pulso comprimido tem um lóbulo principal e alguns lóbulos laterais. Os circuitos digitais de codificação paramétrica devem ser capazes de detectar o lóbulo principal e desprezar os lóbulos laterais. Já que a detecção destes resultaria em dados espúrios.

A característica mais atrativa de um receptor compressivo é o seu potencial para simplificar a medida de ângulo-de-chegada (AOA). Todas as informações do sinal de entrada, tais como a amplitude e a fase são preservadas no sinal comprimido.

Um problema neste tipo de receptor é a faixa dinâmica, pois se esta for muito grande o número de lóbulos secundários a serem tratados aumenta, trazendo dificuldades adicionais para os circuitos digitais. Uma forma de minimizar este problema é se utilizar um filtro ponderado antes da linha de retardo dispersiva.

As linhas de retardo dispersivas mais utilizadas são: a linha-de-onda-acústica de superfície (SAW), a linha supercondutiva, que tem banda larga mais tem um tempo de retardo dispersivo curto, a linha Meander, que é de difícil realização.

Neste tipo de receptor a informação de largura de pulso é perdida e a resolução da medida de tempo-de-chegada é pobre.

2.5.6. Receptor à célula de Bragg (processadores ópticos)

Como seu nome indica o receptor à célula de Bragg, para realizar uma separação em frequência, utiliza uma célula óptica de Bragg. Em essência, este receptor realiza uma transformada de Fourier espacial da onda óptica. O sinal de RF de entrada é convertido em uma onda acústica propagante na célula de Bragg que difrata um feixe laser colimado. A posição do feixe difratado é uma função da frequência de entrada. Um arranjo de fotodetectores é usado para converter a saída do feixe laser em um sinal de vídeo. Neste arranjo, a entrada é em radiofrequência e as saídas são sinais de vídeo canalizados. Ele equivale à entrada de um receptor canalizado, incluindo os detectores de vídeo. Na Figura 10 é mostrado o esquema de um receptor óptico à célula de Bragg.

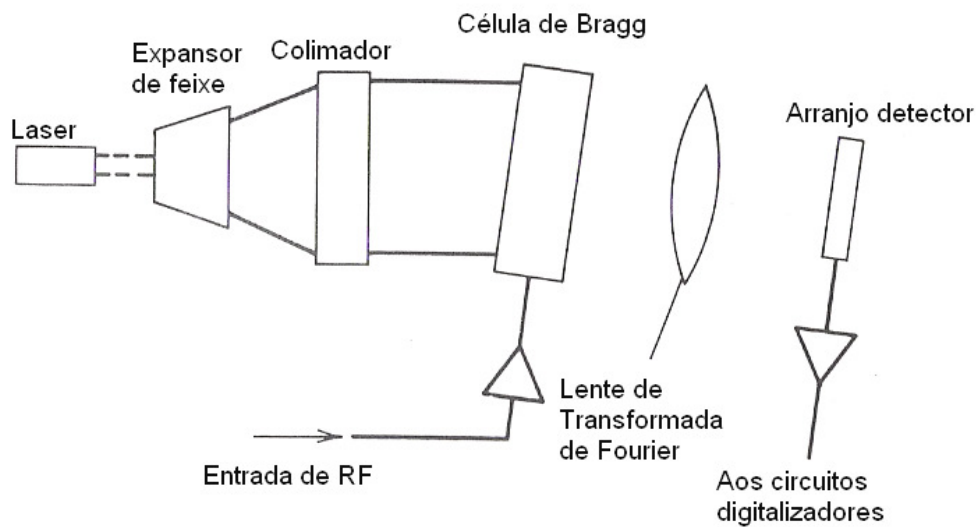


Figura 10: Esquemático de um receptor óptico integrado à célula de Bragg.

A maior vantagem do receptor à célula de Bragg, não se considerando os circuitos de codificação de parâmetros, é a simplicidade. Um grande número de canais (por exemplo, 100) pode ser acomodado em poucos componentes: um laser, um colimador, duas lentes ópticas, uma célula de Bragg, e um conjunto fotodetector. Todo este arranjo pode ser construído de uma forma bem reduzida.

A maior desvantagem deste tipo de receptor é que a célula de Bragg tem saídas ópticas. Com a tecnologia atual, é bem difícil se colocar amplificadores ópticos entre a célula de Bragg e os fotodetetores para aumentar a sensibilidade e não afetar a faixa dinâmica. Podem-se adicionar amplificadores antes da célula de Bragg para melhorar a sensibilidade do receptor. A intermodulação gerada nestes amplificadores por sinais simultâneos limita a faixa dinâmica. Assim, a faixa dinâmica é pequena, em geral. Neste tipo de receptor é a potência de saída do laser que é medida, em contraste com outro tipo de receptor onde a interferometria óptica é utilizada para se melhorar a faixa dinâmica do receptor.

Comparando-se o receptor à célula de Bragg com o canalizado podemos observar que este último é mais complexo (maior número de componentes), mas seu desempenho é um pouco melhor.

Os receptores à célula de Bragg empregam como circuitos de codificação comparadores de amplitude entre canais adjacentes. Como mencionado, anteriormente, isto irá limitar a faixa dinâmica. Para se melhorar o desempenho

deste tipo de receptores, não apenas necessita-se melhorar o arranjo óptico como o codificador de frequência.

A utilização deste tipo de receptor para a realização da medida de ângulo-de-chegada é possível. Porém, exige o emprego bidimensional da célula de Bragg, em uma delas é realizada a medida de frequência e na outra a de ângulo. Desta forma, irá exigir dois conjuntos fotodetetores, aumentando a dificuldade de processamento.

2.6. Receptor digital

Com a evolução na tecnologia de conversão analógico-digital e o aumento da velocidade de processamento digital, foi introduzido o receptor digital de DE. Neste tipo de receptor, a entrada é convertida para baixo em uma frequência intermediária (FI), que é, então, digitalizada por conversores analógico-digitais (ADCs) de alta velocidade com vários níveis de quantização. Um processamento digital de sinal é utilizado para gerar a informação digital desejada (os parâmetros do sinal de entrada).

Um receptor digital não utiliza um detector de vídeo a cristal. A saída do ADC é digital. Algumas das principais vantagens destes receptores referem-se ao processamento digital do sinal. Uma vez que o sinal é digitalizado, todo processamento a seguir é digital. O processamento digital de sinal é mais robusto porque não está sujeito: a variação com a temperatura, a variação do ganho, ou com a mudança do nível DC como nos circuitos analógicos. Portanto, a calibração necessária é menor. A resolução de frequência pode ser muito estreita se técnicas de estimação espectral de alta-resolução forem empregadas. Em vários esquemas de estimação espectral, os resultados são comparados com o limite de Cramer-Rao em relação sinal-ruído elevado, o que não pode ser atingido por receptores analógicos.

As duas áreas em que os receptores digitais de DE precisam ser investigados são: o aumento da largura de banda instantânea e o processamento em tempo real. Estes requisitos podem ser atingidos aumentando-se as velocidades dos conversores ADC e do processamento de sinal. Porém, a tecnologia de conversão analógico-digital não tem evoluído como seria desejável. Já que os receptores de DE podem ter que operar com bandas instantâneas de RF de até 12 GHz, o que é

um limitante ao emprego deste tipo de receptor. A tecnologia atual tem 1 GHz como a melhor banda de frequências, assim mesmo, de difícil acesso tendo sido barrada à maioria dos países emergentes. Portanto, uma forma de se reduzir à banda de operação instantânea dos sistemas de DE é de grande importância. Uma forma de se obter tal intento seria a aplicação de divisores de frequência. Estes dispositivos são capazes de realizar uma conversão de frequência onde a banda do sinal de entrada é comprimida. Esta é a motivação principal deste trabalho.

O principal problema de um receptor digital de DE é ter de processar a saída do ADC a taxas de, por exemplo, 1 GHz e 8 bits. Uma solução seria multiplexar a saída do ADC e realizar uma transformada de Fourier rápida (FFT) em cada uma das saídas multiplexadas em paralelo. Em outra técnica, a saída do ADC é também multiplexada e vários filtros digitais em paralelo são usados para separar os sinais.

Um método de força bruta é construir vários receptores digitais de banda estreita que são combinados para juntos cobrir uma largura de banda instantânea larga. Todas as saídas do receptor precisam ser combinadas apropriadamente para se determinar o número de sinais de entrada e suas frequências centrais. Em essência, este procedimento pode ter critérios de projeto similar ao receptor canalizado analógico.

Uma representação funcional em blocos de um receptor digital é apresentada na Figura 11. A saída do ADC é digital. Estes dados estão no domínio do tempo e devem ser convertidos ao domínio de frequência. No domínio da frequência, a informação está nas linhas espectrais ou na densidade de potência. Contudo, estas saídas não satisfazem aos requisitos de DE. As linhas espectrais devem ser convertidas em frequência de portadora do sinal de entrada. De forma a enfatizar este processo, um codificador de parâmetros é mostrado separadamente do estimador espectral.

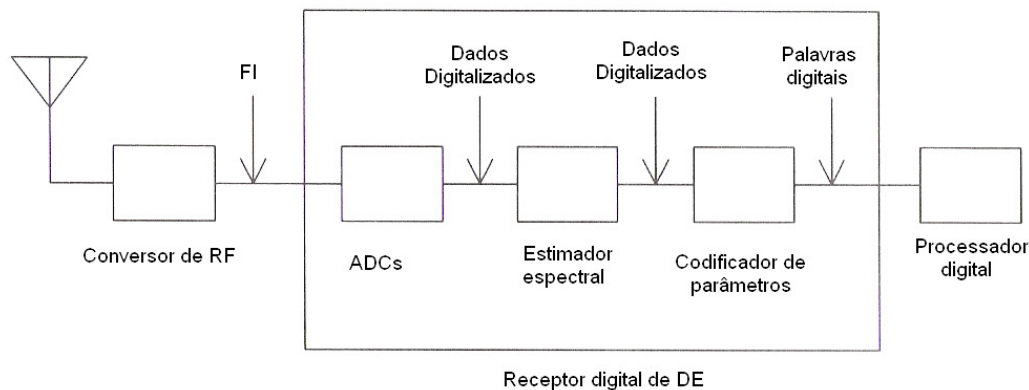


Figura 11: Diagrama em blocos de um receptor digital de DE

2.6.1. Conversor de frequência

A Figura 12 apresenta uma solução possível para o bloco de conversão de frequência de RF mostrado na Figura 11. Este é basicamente, uma cascata de divisores de frequência por dois. Estes componentes serão discutidos em profundidade no Capítulo 3.

Este conversor de frequência permite a compactação de uma banda de 16 GHz (2 GHz a 18 GHz) em uma banda de 1 GHz (DC a 1GHz). Para tal, é, inicialmente, realizada uma conversão (misturação) de descida. Assim, a banda de frequência de entrada de 2 GHz a 18 GHz é convertida, com o auxílio de um misturador e um oscilador em 2 GHz, em uma banda de DC a 1 GHz. Desta forma, podem-se utilizar quatro divisores de frequência por dois, em cascata, cada um deles cobrindo uma banda de uma oitava. Em cada uma das saídas do pentaplexer é utilizado um detector para determinar a ocorrência de atividade nesta banda. Portanto, a informação derivada destes detectores pode ser utilizada como os bits mais significativos do dado de frequência.

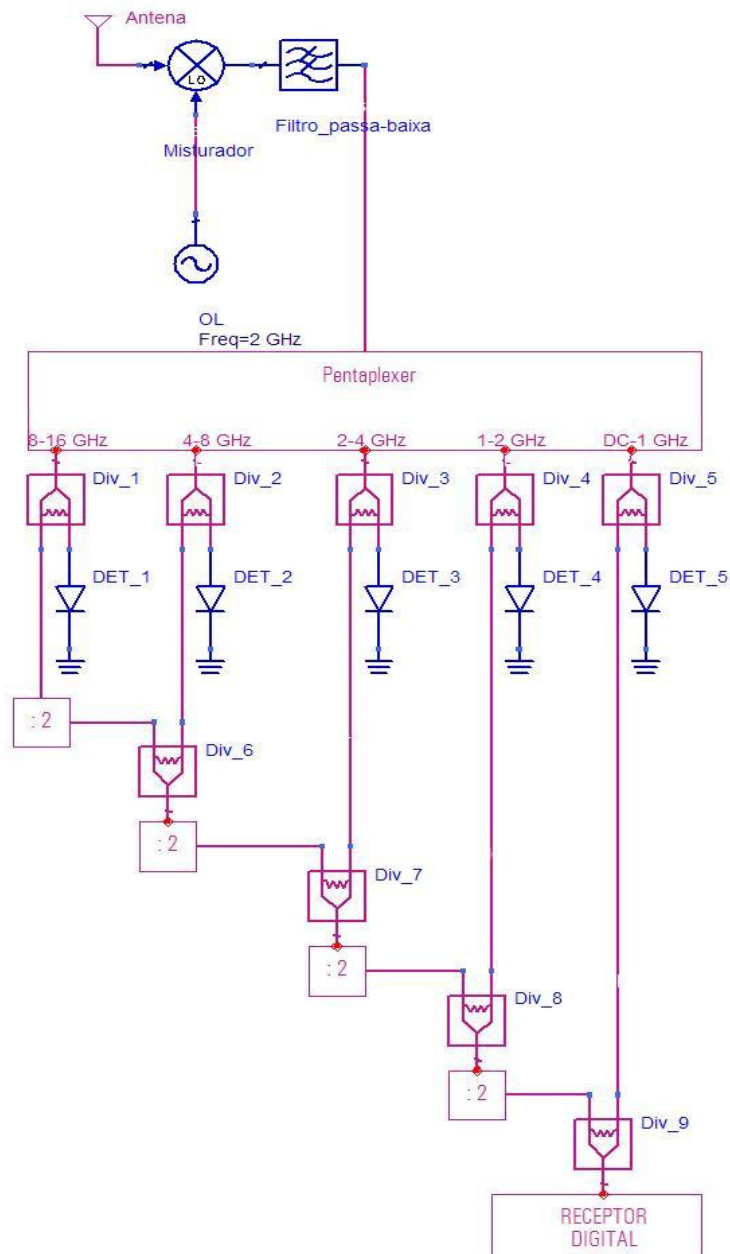


Figura 12: Diagrama em blocos de um conversor de frequência aplicável a um receptor digital de DE.

2.7. Comentários e conclusões parciais

Foi apresentada a classificação dos receptores de DE conforme a sua aplicação, tendo sido mostrada as principais topologias e suas características principais, bem como um exemplo de receptor digital empregando divisores de frequência como conversores de frequência.