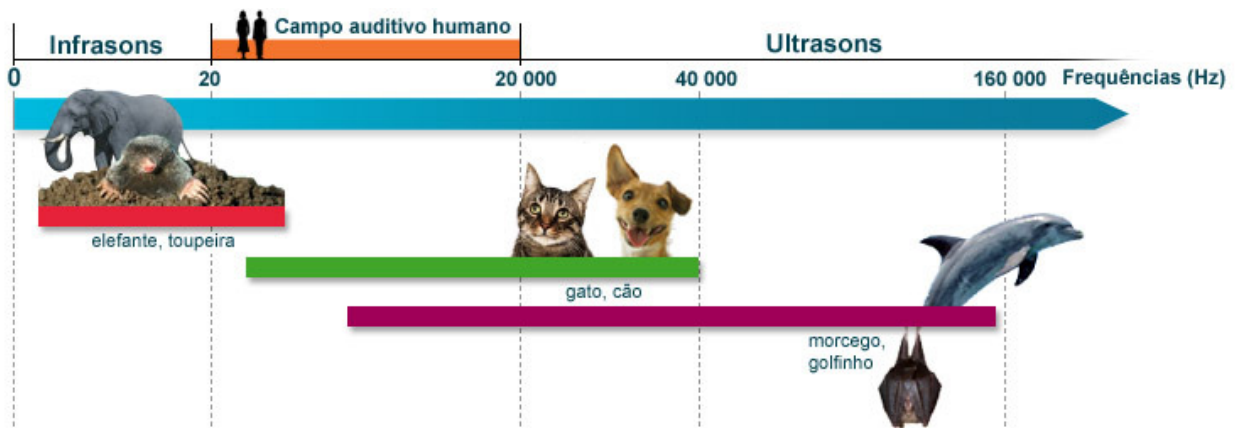


Radiodifusão Analógica em AM e FM

Prof. Wilson Carvalho de Araújo

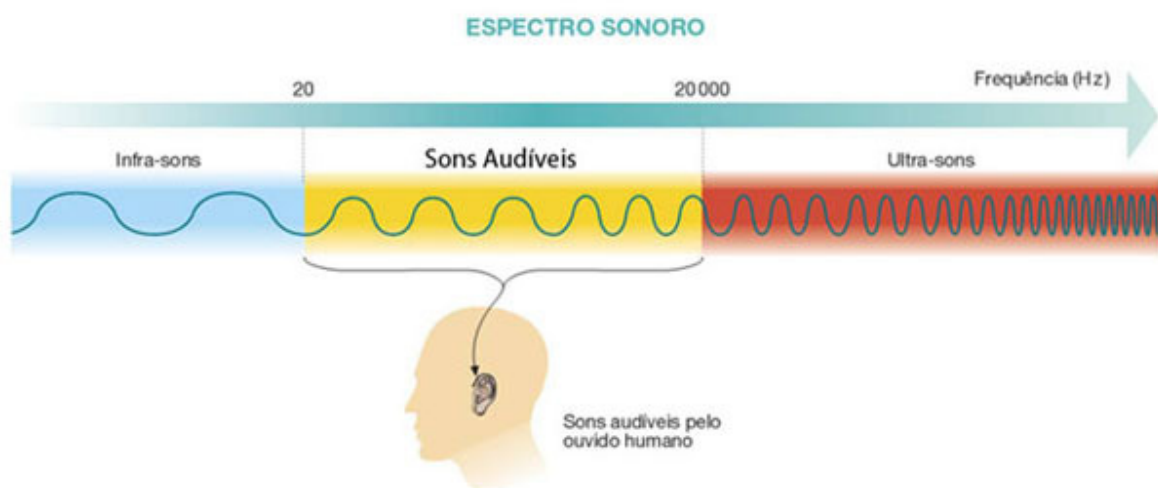
O ouvido humano é capaz de perceber frequências compreendidas entre os 20 Hz (frequência mais grave) e os 20000 Hz (frequência mais aguda). Essa faixa é denominada de audível (faixa de áudio).

Utilizando como referência a audição humana, chamamos infrassons aos sons de frequência inferior a 20 Hz. Apesar do homem não os poder ouvir, há animais (toupeira e elefante, por exemplo) que são capazes de os captar, conseguindo ouvir as ondas dos tremores de terra (poucos Hz). Da mesma forma, designamos ultrassons aos sons inaudíveis por terem frequência superior a 20000 Hz. Um cão ou um gato ouvem até aos 40000 Hz e um morcego até aos 160000 Hz.

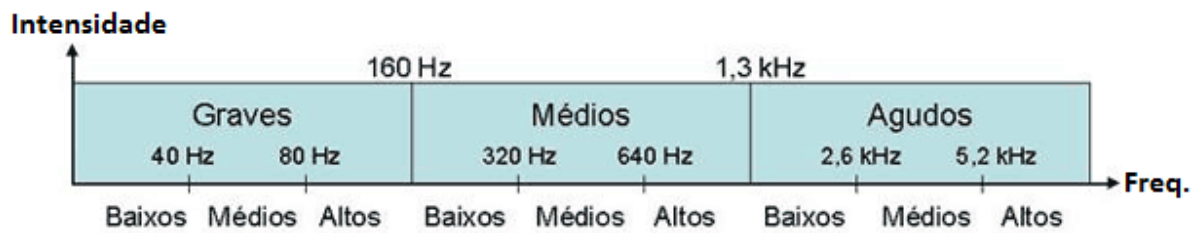


Com o decorrer da idade as pessoas tendem a perder a capacidade de perceber sons de frequências elevadas.

As frequências abaixo de 30KHz possuem propagação predominante por ondas de choque mecânicas e são denominadas ondas sonoras. A faixa de áudio (audição humana) está contida toda dentro da faixa de ondas sonoras.



Os sons audíveis são classificados segundo a percepção de sua frequência em graves, médios e agudos.

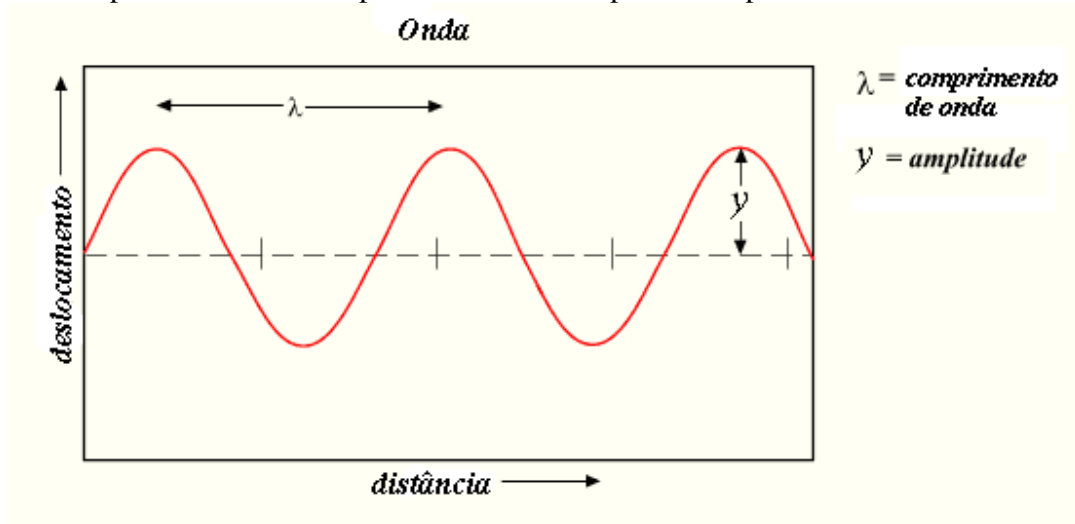


As ondas sonoras se propagam pela atmosfera a 340 m/s (nível do mar a 25°). Essa velocidade depende do meio e da temperatura. Exemplos:

- Borracha: 60 m/s
- Chumbo: 1210 m/s
- Ouro: 3240 m/s
- Vidro: 4540 m/s
- Cobre: 4600 m/s
- Alumínio: 6320 m/s

A amplitude de uma onda sonora é a medida da extensão de uma perturbação durante um ciclo da onda; em um sinal elétrico é o nível de pico da onda, em uma propagação sonora representa o valor de pico de pressão (intensidade).

O comprimento da onda representa a distância percorrida por um único ciclo



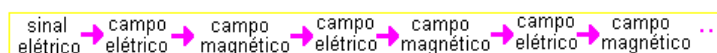
A faixa audível (20Hz a 20KHz) tem um alcance muito pequeno, de algumas centenas de metros, tendendo a se dispersar pelo ambiente.

A Onda Eletromagnética

Na comunicação via rádio, as informações são convertidas em sinal elétrico, amplificadas e tratadas convenientemente para depois serem lançadas ao ar (meio de transmissão).

O sinal elétrico que chega à antena transmissora varia de acordo com as informações codificadas. Este sinal elétrico, por sua vez, provoca o surgimento de um campo elétrico e um campo magnético. Esses campos, por serem provocados por um sinal variável, também serão variáveis (variação esta, correspondente ao sinal elétrico).

Um campo elétrico variável provoca o surgimento de um campo magnético também variável, e a variação de um campo magnético provoca o surgimento de um campo elétrico (corrente elétrica induzida). Se gerarmos inicialmente um sinal elétrico variável, cria-se a seqüência:



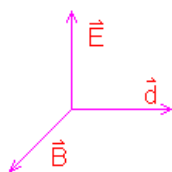
A onda assim formada se propaga no espaço com a velocidade de 300.000 Km/s e é denominada onda eletromagnética (OEM).

Sabendo-se a freqüência dessa onda, podemos determinar seu comprimento segundo a fórmula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

velocidade da luz (m/s)
freqüência (Hz)

Sua propagação se dá de uma forma tal que a direção de propagação do vetor campo elétrico seja sempre perpendicular a do campo magnético.



A posição da antena transmissora define o posicionamento do campo elétrico no espaço, definindo o tipo de polarização da onda (vertical ou horizontal) e a posição da antena receptora (que também deve obedecer essa polarização para que se obtenha o rendimento máximo).

A Portadora RF:

Sinais de baixa freqüência, como a faixa de áudio (**AF** - Audio Frequency - 20Hz a 20KHz), tem pouco alcance numa transmissão. Verificamos, também, que freqüências maiores atravessam o meio ambiente com maior facilidade e com menor dispersividade que as baixas freqüências (maior direcionalidade).

Para transmitir sinais de baixa frequência, como áudio, a grandes distâncias, torna-se necessário introduzir características de altas frequências nestes sinais para que atravessem o meio de transmissão com a maior facilidade possível.

A solução encontrada foi gerar um sinal na faixa de **RF** (Radio Frequency - ondas acima de 30KHz) e moldar este sinal com as características das informações que se deseja transmitir. Este sinal de RF é denominado **portadora** (pois serve de transporte às informações) e o processo de moldagem dessa portadora é denominado **modulação**. No receptor de rádio a portadora é detectada e a informação original (AF) é demodulada (extraída da portadora).

Para classificar as ondas eletromagnéticas temos as seguintes denominações:

faixa	nome	significado	aplicação
3KHz a 30KHz	VLF	Very Low Frequencies	comunicação embarcação-costa, sonares.
30KHz a 300KHz	LF	Low Frequencies	navegação marítima.
300KHz a 3Mhz	MF	Medium Frequencies	navegação, radiodifusão AM-OM, telegrafia, radioamadorismo.
3MHz a 30MHz	HF	High Frequencies	radiodifusão AM-OC, radioamadorismo, televisores, uso industrial e científico.
30MHz a 300MHz	VHF	Very High Frequencies	radioamadorismo, TV, radiodifusão FM, aviação.
300MHz a 3GHz	UHF	Ultra High Frequencies	radioamadorismo, meteorologia, TV, telefonia, radar (aerportos).
3GHz a 30GHz	SHF	Super High Frequencies	radares, radaltímetros, satélites.
30GHz a 300GHz	EHF	Extremally High Frequencies	satélites, uso experimental, uso governamental.

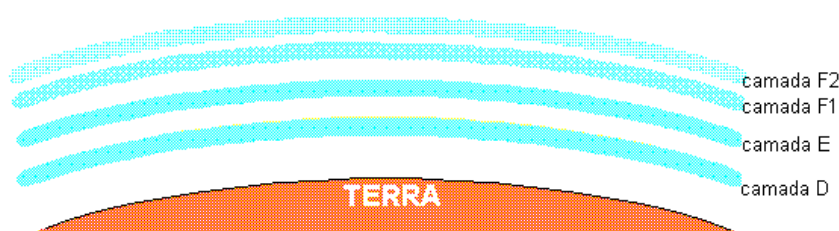
Propagação das Ondas Eletromagnéticas:

Em função da faixa de frequências a ser transmitida, podemos dividir os tipos de propagação das ondas em três grandes grupos:

- **Ondas terrestres:** onde a superfície da Terra se comporta como um condutor para a onda eletromagnética; são características das frequências inferiores a 3MHz (VLF, LF e MF).
- **Ondas espaciais (ionosféricas):** onde o princípio de propagação encontra-se na reflexão da onda nas camadas ionosféricas; ocorre entre 2MHz e 30MHz, característico principalmente das comunicações em HF.
- **Ondas de visada direta:** onde a propagação se dá apenas em linha reta, sujeita aos fenômenos de reflexão, difração e absorção em obstáculos; ocorre em frequências acima de 30MHz (VHF, UHF, SHF e EHF).

A Ionosfera:

A comunicação de rádio a longas distâncias é, em grande parte, viável graças a ionosfera (entre aproximadamente 90Km e 320Km de altitude). A ionosfera não é uniforme, por isso é subdividida, para efeito de análise, em camadas - algumas delas instáveis. A radiação ultravioleta proveniente do sol ioniza cada camada de forma a atribuir-lhes características que possibilitam a reflexão e absorção das ondas de rádio.



Analisando separadamente cada camada, podemos compreender melhor a ionosfera e também a grande variação de qualidade e alcance na recepção por ondas de rádio.

A camada "E":

Localizada a cerca de 100 Km acima da superfície da Terra, é considerada a camada útil mais baixa da ionosfera. Nesta camada os íons recombina-se rapidamente, dando origem a um grande número de partículas neutras, que não refletem as ondas de rádio. Por esse motivo, a camada E só tem utilidade durante o dia, sendo mais ativa ao meio dia, normalmente; após o pôr-do-sol, ela praticamente desaparece.

A comunicação pela camada E costuma ocorrer num único "salto" do sinal, cobrindo distâncias entre 650Km e 2000Km.

A camada "F":

Localizada a 280 Km de altitude, é a principal responsável pelas comunicações a longas distâncias. Durante o dia divide-se em duas áreas distintas, batizadas F1 e F2. Ficam a 225 Km e 320 Km de altura, respectivamente, nos dias em que o nível de ionização está elevado; após o cair do sol voltam a se recombinar em uma só camada.

A máxima distância permitida pela camada F, num único "salto", é de 4000 Km, aproximadamente. A grande altitude da região F faz com que a recombinação de íons e elétrons em partículas neutras ocorra muito lentamente. O nível de ionização começa a diminuir no fim da tarde, tornando-se progressivamente mais fraco, até atingir seu nível mais baixo pouco antes do nascer do sol.

A camada "D":

Fica logo abaixo da camada E e, ao invés de auxiliar as comunicações, acaba por "absorver" transmissões com frequências inferiores a aproximadamente 8 MHz. No entanto, a maior frequência absorvível e o próprio nível de absorção vão depender da ionização, que por sua vez é função da distância em relação ao sol. Essa camada costuma ser bastante ativa em torno do meio dia, no alto verão, sendo muito menos intensa no inverno.

Existem muitos fatores que influenciam a ionosfera e sua capacidade de refletir sinais de rádio. Os principais são citados a seguir:

- **Manchas solares**

São fenômenos cíclicos que surgem na superfície solar, com períodos médios de 11 anos entre as quantidades mínima e máxima, embora o ciclo possa variar de 9 a 13 anos.

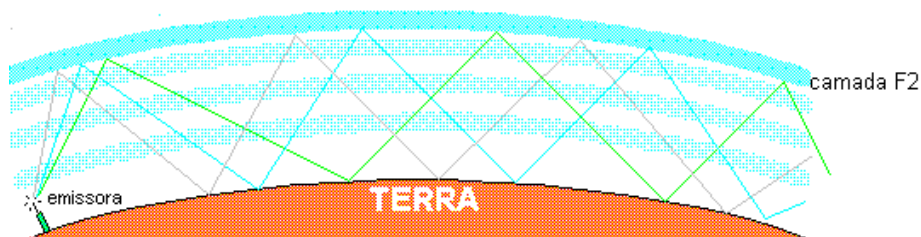
Durante a parte "fraca" do ciclo, a ionosfera resulta pouco ativa e a recepção em ondas curtas (de 2300 KHz a 30 MHz) passa pela sua pior fase. Ao contrário, quando o sol exibe um bom número de manchas, a ionosfera está bastante ativa e as comunicações são eficientes.

- **Radiação solar**

É um fenômeno que se divide em dois tipos principais: luz ultravioleta e partículas carregadas. A luz percorre a distância até a Terra em aproximadamente 8 minutos e seus efeitos sobre a ionosfera são breves. As partículas, ao contrário, deslocam-se a uma velocidade bem inferior, levando várias horas até ter algum efeito sobre as comunicações - Tal como maior absorção pela camada D e a produção de auroras. Esses efeitos costumam ter uma periodicidade de 27 dias, que é o tempo de rotação do sol.

- **Saltos múltiplos**

É perfeitamente possível que um sinal dê mais de um "salto" antes de atingir o receptor. Apesar de as reflexões terrestres e a absorção ionosférica atenuarem a intensidade do sinal, comunicações de até meia volta ao mundo tornam-se possíveis pelos trajetos de "saltos" múltiplos. Por outro lado, os níveis de sinal costumam ser menores e sofrem mais distorções e atenuação que os sinais de "salto" único.



- **Ângulo de radiação**

É o ângulo com que a onda eletromagnética é irradiada em relação ao solo. ângulos mais baixos exibem uma distância de "salto" superior a da que deixa a antena com ângulos altos. Convém acrescentar, no entanto, que esse efeito é determinado não só pelo ângulo com que o sinal atinge a ionosfera, mas também a sua frequência.

Podemos concluir então que o sol é um dos principais fatores a determinar a possibilidade e a qualidade das comunicações via rádio (principalmente em HF), fora das recessões locais. As condições de propagação, além disso, variam de acordo com ciclos bastante evidentes, tais como a hora do dia e as estações do ano. Existem ainda alterações menos óbvias, provocadas na ionosfera pela atividade solar, manchas solares e outras irradiações.

Esses e diversos outros fatores devem ser considerados ao selecionar uma frequência que irá nos fornecer o trajeto ideal de comunicação.

Na faixa de HF encontramos, no site da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), as seguintes definições:

Onda Curta (OC): “É a modalidade de serviço de radiodifusão que opera nas faixas de 5.950 kHz a 6.200 kHz, 9.500 kHz a 9.775 kHz, 11.700 kHz a 11.975 kHz, 15.100 kHz a 15.450 kHz, 17.700 kHz a 17.900 kHz, 21.450 kHz a 21.750 kHz e 25.600 kHz a 26.100 kHz, com modulação em amplitude.”

Onda Tropical (OT): “É a modalidade de serviço de radiodifusão que opera nas faixas de 2.300 kHz a 2.495 kHz, 3.200 kHz a 3.400 kHz, 4.750 kHz a 4.995 kHz e 5.005 kHz a 5.060 kHz, com modulação em amplitude.”

Faixas de radiodifusão em ondas curtas e tropicais (OC/OT)

frequência (KHz)	faixa (metros)
2300 - 2945	120
3200 - 3400	90
3900 - 4000	75
4750 - 5060	60
5950 - 6200	49
7100 - 7300	41
9500 - 9775	31
11700 - 11975	25
15100 - 15450	19
17700 - 17900	16
21450 - 21750	13
25600 - 26100	11

Faixas de radiodifusão em HF

frequência (MHz)	faixa (metros)
1,8 - 2	160
3,5 - 4	80
7 - 7,3	40
14 - 14,35	20
21 - 21,45	15
27 - 29,6	10

AM – Amplitude Modulation

Sempre que a radiação eletromagnética é utilizada como meio de transmissão (portadora), deve-se imprimir a informação sobre ela, alterando um ou mais parâmetros da mesma (modulação). Se nos restringirmos à modulação analógica, existem dois tipos principais: **modulação em amplitude (AM)** e **modulação angular**. A modulação em amplitude pode, ainda, ser subdivididos em vários tipos, a saber as principais:

- **DSB** (double side band);
- **VSB** (vestigial side band);
- **DSB/SC** (double side band / suppressed carrier);
- **SSB** (single side band).

Na modulação AM/DSB a informação é usada para variar a amplitude da portadora de RF de tal forma que na ausência de modulação, a portadora continua a ser irradiada em determinado nível. Por outro lado, na modulação máxima a amplitude da portadora chega a assumir um valor nulo.

Em AM-DSB percebemos que a envoltória da portadora modulada corresponde a variação do sinal modulador, com um "lado" idêntico ao sinal modulador (**envelope positivo**) e outro com uma defasagem de 180° em relação a informação (**envelope negativo**).

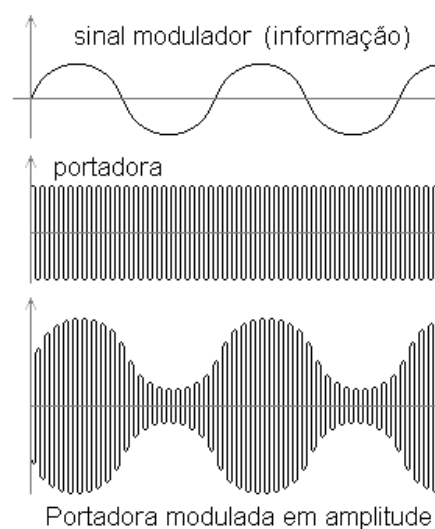
Matematicamente, o sinal AM/DSB é expresso por:

informação:	$e_m(t) = E_m \cdot \cos \omega_m t$
portadora:	$e_o(t) = E_o \cdot \cos \omega_o t$
portadora modulada:	$e(t) = [e_m(t) + E_o] \cdot \cos \omega_o t$

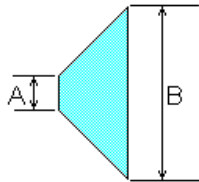
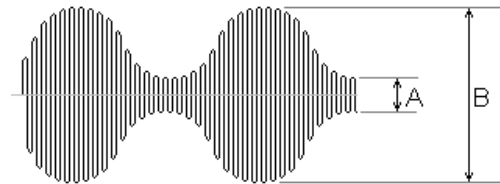
ou, sendo $M = \frac{E_m}{E_o} \Rightarrow e(t) = (1 + m \cdot \cos \omega_m t) \cdot E_o \cdot \cos \omega_o t$

onde: M = **índice de modulação**;
 E_o = **nível máximo da portadora sem modulação**;
 E_m = **nível máximo do sinal modulador (informação)**.

O índice de modulação (m) representa o grau de modificação que o sinal modulador provoca na portadora e pode variar entre zero (sem modulação) e 1 (modulação máxima), enquanto o parâmetro conhecido como nível de modulação é representado em porcentagens (100% corresponde ao índice de modulação unitário). Nos transmissores comerciais o nível de modulação gira em torno de 30%.



Graficamente, o índice de modulação pode ser determinado como mostra a figura ao lado, pela forma de onda e pelo método trapezoidal:



$$\text{índice de modulação: } M = \frac{B - A}{B + A}$$

O método do trapézio consiste em injetar o sinal modulado no eixo vertical do osciloscópio e, desligando-se a varredura, injetar no eixo horizontal o sinal modulante (informação), compondo os dois sinais e apresentando o "trapézio".

Retornando e desenvolvendo a equação dada temos:

$$e(t) = E_o \cdot \cos \omega_o t + M \cdot \cos \omega_m t \cdot E_o \cos \omega_o t$$

* recordemos a passagem matemática: $\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} \cos(a+b) + \frac{1}{2} \cos(a-b)$

de onde tiramos a expressão final da modulação AM/DSB:

$$e(t) = E_o \cdot \cos \omega_o t + \frac{1}{2} M \cdot E_o \cdot \cos(\omega_m + \omega_o) t + \frac{1}{2} M \cdot E_o \cdot \cos(\omega_m - \omega_o) t$$

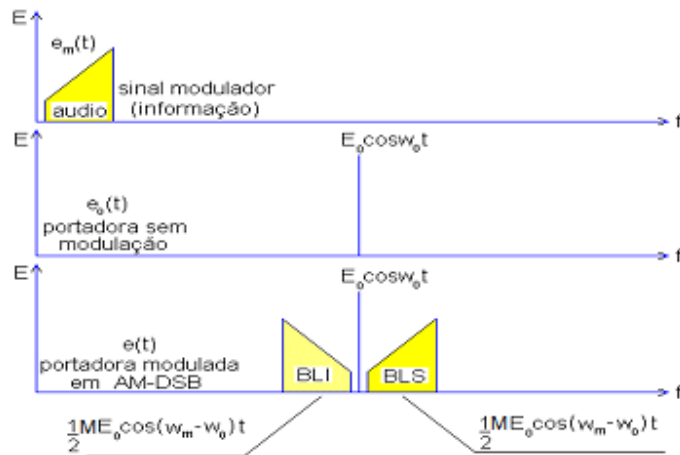
onde temos:

$$E_o \cdot \cos \omega_o t = \text{portadora sem modulação}$$

$$\frac{1}{2} M \cdot E_o \cdot \cos(\omega_m + \omega_o) t = \text{banda lateral superior}$$

$$\frac{1}{2} M \cdot E_o \cdot \cos(\omega_m - \omega_o) t = \text{banda lateral inferior}$$

Como podemos verificar pela expressão, a informação de baixa frequência está presente nas duas bandas laterais, simetricamente dispostas acima e abaixo da portadora.

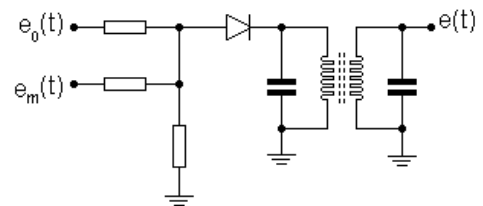


Como a informação está presente nas duas bandas laterais, há um desperdício de espectro de frequências e de potência de irradiação, pois além de uma só banda ser necessária (contém toda informação), grande parte da potência é irradiada pela portadora, que não contém informação.

A modulação AM/DSB é a mais antiga forma de transmissão e a de implementação mais fácil e barata, tanto para modulação como demodulação. É pois, o tipo de modulação mais empregado até hoje.

• **Modulador síncrono a diodo:**

É um modulador apropriado para aplicações onde se deseje linearidade, alto índice de modulação e baixo sinal de saída; é usado em moduladores de vídeo para microcomputadores, videogames e videocassetes.

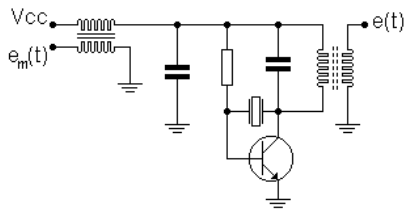


Seu princípio de funcionamento é baseado no fato de que um sinal amostrado por uma função do tipo "chave síncrona" gera uma série de harmônicos, que podem ser convenientemente recuperados por uma filtragem passa-faixas.



O transformador de RF e os capacitores formam um circuito sintonizado na frequência da portadora (RF) que retira as raias necessárias para formar o DSB.

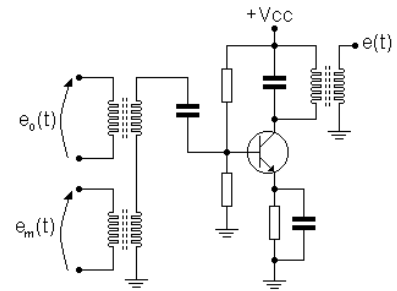
- **modulador com oscilador a cristal:**



Neste tipo de circuito temos um oscilador a transistor trabalhando na frequência determinada pelo cristal. O potencial de alimentação é variado pela entrada de modulação fazendo com que o nível do sinal do oscilador (RF) varie de acordo com a informação (AF).

- **modulador quadrático:**

No modulador quadrático o transistor é polarizado na região exponencial de forma a aproximá-la de uma parábola (função quadrática).



AM-VSB:

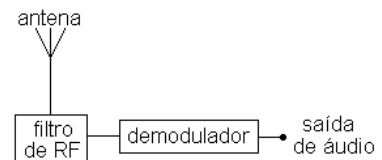
Um derivado direto do AM-DSB é a modulação **AM-VSB (vestigial side band)**. A princípio foi uma alternativa para diminuir a largura de faixa (espectro) ocupada pelo DSB mantendo a simplicidade de obtenção e demodulação; é gerado a partir de um sinal completo AM-DSB onde uma das bandas laterais é filtrada, nestas condições, uma das bandas é transmitida por completo e a outra, apenas uma parte. A modulação em AM-VSB encontra aplicação na transmissão da informação de vídeo dos sistemas de televisão comerciais.

Receptor AM

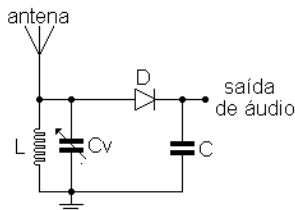
A radiodifusão em AM-DSB é classificada em **ondas médias (OM ou MW - medium waves)** e **ondas curtas (OC ou SW - short waves)** - as Ondas Tropicais (OT) são tratadas como Ondas Curtas. De acordo com a faixa de frequências temos:

- **OM (MW):** de 535KHz a 1605 KHz;
- **OC (SW):** de 2300KHz a 26MHz.

É relativamente simples implementar circuitos de receptores de AM-DSB. Para tal bastam a antena, um filtro passa-faixa e um demodulador, como podemos ver pelo diagrama de blocos da figura ao lado:



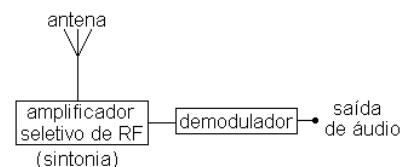
A antena é o elemento captador do sinal. Como esse sinal possui as mais diversas frequências, ele é entregue a um filtro que seleciona a portadora desejada (sintonia). Em seguida, esse sinal pode ser demodulado por um retificador de meia onda atuando como detector de envoltória; dependendo da eficiência da antena podemos ter, na saída do demodulador um nível capaz de excitar um fone de cristal, aproveitando a própria energia captada pela antena.



Este tipo de circuito possui um nível de saída bastante reduzido. Assim sendo, pode-se utilizar um amplificador de áudio para elevar a intensidade do sinal até o nível desejado.

Otimizando esse tipo de circuito, com sentido de realizar receptores comerciais para AM-DSB, surgiram os receptores que realizavam a amplificação do sinal de RF sintonizado antes da demodulação.

Neste tipo de circuito, os amplificadores de RF devem ser sintonizados em uma frequência definida, correspondente à estação sintonizada. Assim sendo, cada amplificador deve ser dotado de um filtro passa-faixa (circuitos LC).



Os circuitos passa-faixas possuem a característica de não possuir uma banda passante única para diversas faixas de frequência, ou seja, para frequências maiores a seletividade decresce, provocando também, um ganho maior para frequências maiores.

Dessa forma, este tipo de circuito não apresenta nem seletividade nem ganho constante para as diversas faixas de frequência. Além disso, com o uso de vários estágios amplificadores de RF (para melhorar a seletividade), cria-se o problema de sintonização de todos os filtros na mesma frequência, para toda a faixa de recepção, prejudicando a viabilidade prática e econômica de sua construção nos dias de hoje.

Nos primórdios da radiodifusão AM-DSB a quantidade de estações transmissoras era reduzida, possibilitando o uso deste tipo de circuito. Estes circuitos são denominados por RFS (Rádio-Frequência Sintonizada).

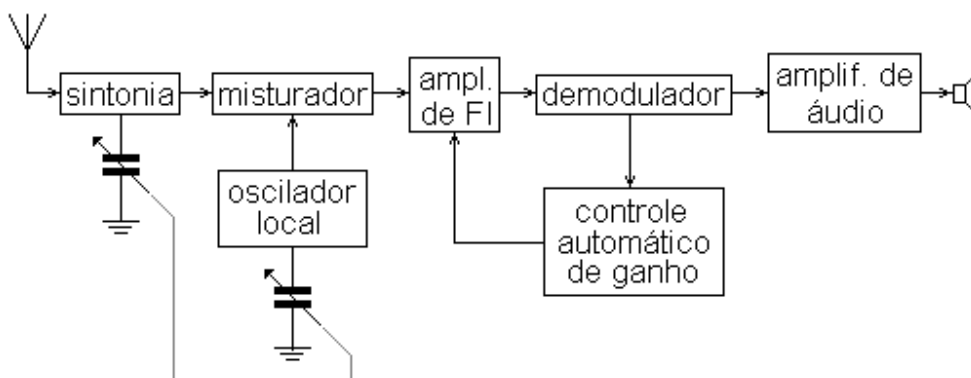
Receptor Súper Heterodino

Inventado pelo engenheiro norte-americano Edwin Howard Armstrong em 1918 durante a 1ª Guerra Mundial, usa mistura de frequências (heterodinagem) para converter um sinal recebido numa frequência fixa intermédia (FI). Dessa forma, o amplificador pode ser projetado para operar próximo de uma única frequência, sendo otimizado para tal situação e com filtros que eliminem qualquer interferência que esteja fora da sintonia. O receptor com essas características (conversão à FI) é denominado super heteródino.

Os receptores de AM/DSB, tanto para ondas médias (MW) como para ondas curtas (SW), fazem conversão para a frequência intermediária (FI) de 455KHz.

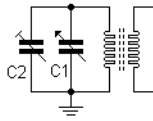
Os receptores de rádio comerciais obedecem a uma certa estruturação que padroniza a função de cada bloco do conjunto. Dessa forma, da captação do sinal pela antena até a demodulação da informação, encontramos fundamentalmente a disposição de blocos apresentada a seguir:

- Diagrama em blocos:



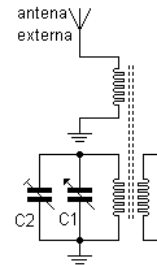
A **antena** é responsável pela captação das ondas eletromagnéticas. Os sinais induzidos são aplicados à etapa de **sintonia** que faz a seleção da portadora desejada. O **mixer** e o **oscilador local** formam juntos o estágio conversor, que faz a conversão da portadora sintonizada a interportadora FI. No bloco de **FI** o sinal é amplificado em dois ou três sub-estágios que elevam o nível do sinal até possibilitar a **demodulação** (cerca de 1Vp). Para compensar a diferença na captação das emissoras (mais "fortes" ou mais "fracas") temos o **controle automático de ganho**, que tende a ajustar o ganho do amplificador de FI de acordo com a intensidade da estação sintonizada.

A partir da saída de áudio, o sinal está pronto para ser entregue a um amplificador de áudio convencional, de modo a ser amplificado e excitar um altofalante, por exemplo.

Sintonia:

A antena é o próprio indutor que também participa do filtro de sintonia. Em paralelo, temos o variável C1 e o trimmer C2 que, em conjunto, formam o filtro de sintonia.

Um segundo enrolamento, acoplado ao mesmo núcleo de ferrite, faz com que o conjunto atue como um transformador, proporcionando a "saída" do sinal; podemos, em alguns receptores, encontrar um enrolamento adicional, acoplado ao indutor L, com uma ligação à massa e a outra ponta servindo como entrada para antena externa, com a função de intensificar a captação do sinal de RF.



O circuito LC assim formado tem sua frequência de ressonância dada por:

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C_1 + C_2)}} \quad \text{Os valores de L, C1 e C2 são definidos para que a variação do variável proporcione possibilidade de ajuste cobrindo a faixa de recepção (535KHz a 1605KHz para MW).}$$

Dada a dificuldade em se obter a seletividade desejada e implementação do oscilador local (visto mais adiante), a faixa SW (por ser extensa - 1605KHz a 30MHz) é subdividida em várias partes denominadas SW1, SW2, etc. O trimmer é o capacitor de calibração do estágio.

Dessa forma, selecionando a frequência de ressonância do conjunto, identificamos a portadora da emissora que se deseja sintonizar.

Conversor:

Através do circuito conversor toda estação de rádio sintonizada terá sua portadora convertida a uma interportadora denominada **FI** (frequência intermediária) preservando as características de modulação da portadora original.

Para efetuar essa conversão, temos um circuito oscilador de RF, denominado oscilador local, que trabalha com seu capacitor variável acoplado mecanicamente ao capacitor do estágio de sintonia, de forma a gerar uma frequência sempre 455KHz acima da portadora sintonizada; se a portadora sintonizada for 1000KHz, por exemplo, o oscilador local estará oscilando em 1455KHz (455KHz acima).

O misturador (mixer) faz a interação do sinal sintonizado com o gerado pelo oscilador local, dando origem aos batimentos.

Sabendo que a portadora sintonizada $[e(t)]$ e o sinal do oscilador local $[e_{OL}(t)]$ são funções cossenoidais, teremos:

sinhal RF sintonizado: $e(t) = [E_o + e_m(t)].\cos\omega_o t$

onde:

$$e_m(t) = E_m.\cos\omega_m t$$

portanto:

$$e(t) = E_o.\cos\omega_o t + \frac{1}{2}m.E_o.\cos(\omega_o + \omega_m)t + \frac{1}{2}m.E_o.\cos(\omega_o - \omega_m)t$$

recordando que:

$$\cos(a).\cos(b) = \frac{1}{2}\cos(a+b) + \frac{1}{2}\cos(a-b)$$

sinhal CW do oscilador local: $e_{OL}(t) = E_{OL}.\cos\omega_{OL}t$

na saída do misturador teremos: $e_{mix}(t) = e(t).e_{OL}(t)$

$$e_{mix}(t) = [E_o + e_m(t)].\cos\omega_o t.E_{OL}.\cos\omega_{OL}t$$

$$e_{mix}(t) = E_{OL}.[E_o + e_m(t)].\cos\omega_{OL}t.\cos\omega_o t$$

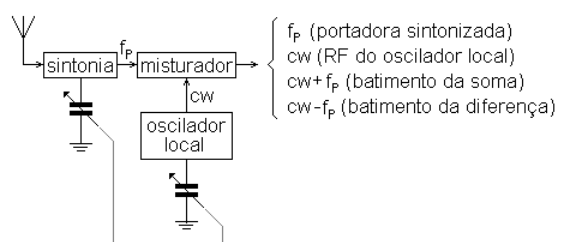
usando a relação de multiplicação de cossenos:

saída do misturador:

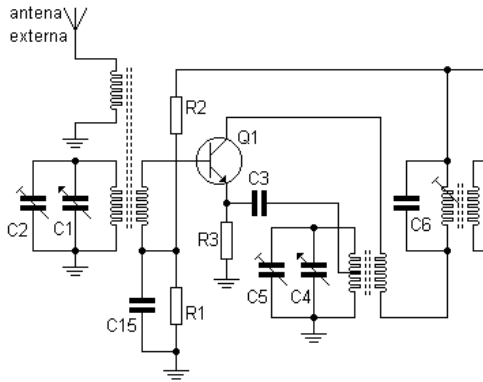
$$e_{mix}(t) = \frac{1}{2}E_{OL} . [E_o + e_m(t)].\cos(\omega_{OL} - \omega_o)t + \frac{1}{2}E_{OL} . [E_o + e_m(t)].\cos(\omega_{OL} + \omega_o)t$$

(batimento da diferença) (batimento da soma)

O sinal RF gerado no oscilador local, por ser de amplitude constante, é denominado **sinhal CW (Constant Wave)**; como está sempre 455KHz além do sinal sintonizado, o batimento da diferença entre eles será sempre 455KHz, mas com a modulação do sinal captado (informação original transmitida).



Este sinal, por resultar na mesma freqüência para qualquer sinal sintonizado e preservando a modulação original, compõe a FI, podendo ser separado dos outros por um simples filtro passa-baixas.

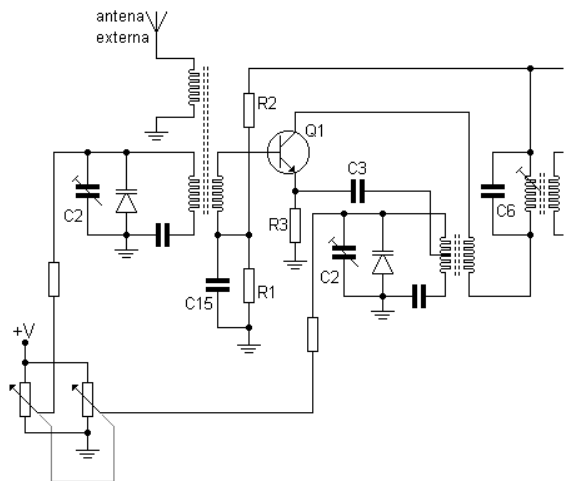


O circuito básico do oscilador local consiste em um circuito "tanque de oscilação" que aproveita o próprio sinal captado e amplificado para garantir a continuidade de sua oscilação; o indutor que forma o circuito "tanque" está acoplado a outro indutor, de forma a termos um transformador de RF, assim sendo, uma pequena parte do sinal que já passou pelo mixer é retirada para suprir o circuito "tanque".

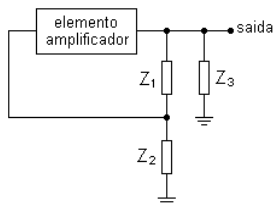
O mixer (misturador) consiste de um transistor polarizado na região quadrática que atua como modulador de produto, recebendo a RF sintonizada em sua base e a RF do oscilador local em seu emissor. É comum o uso de modulador quadrático série (injeção dos sinais na base) em circuitos mais simples.

Na saída do mixer temos o resultado dos batimentos que são filtrados, passando adiante apenas a FI de 455KHz.

Substituindo os capacitores variáveis por diodos do tipo varicap, podemos efetuar a sintonização e conversão à FI por intermédio de uma tensão dc controlada por um par de potenciômetros acoplados pelo eixo.



Em circuitos receptores de qualidade podemos encontrar um oscilador do tipo Hartley, Colpitts ou ainda outro, atuando como oscilador local garantindo a superioridade no desempenho do conjunto conversor.



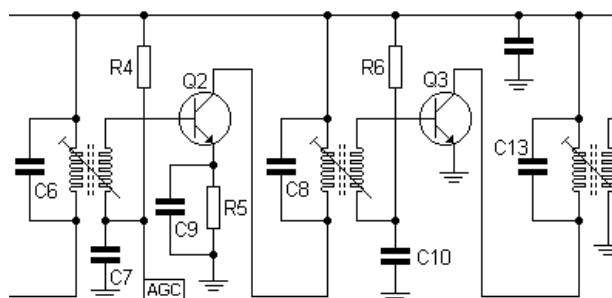
- oscilador Hartley:
 Z_1 e Z_2 = indutâncias
 Z_3 = capacitância
- oscilador Colpitts:
 Z_1 e Z_2 = capacitâncias
 Z_3 = indutância
- oscilador Clapp:
 Z_1 e Z_2 = capacitâncias
 Z_3 = circuito LC

Obviamente, os circuitos osciladores utilizados na composição do oscilador local são variações dos circuitos Hartley ou Colpitts possibilitando várias formas de implementação; a estrutura básica, porém, obedece a apresentada na forma de blocos facilitando a identificação.

Amplificadores de FI:

O estágio de amplificação de FI é composto de dois ou três sub-estágios amplificadores em cascata, precedidos de filtros sintonizados em 455KHz.

Os filtros garantem a alta seletividade à frequência de 455KHz, bloqueando interferências. O tipo de acoplamento que encontramos nestes transformadores está entre os acoplamentos crítico e supercrítico; pois no ajuste subcrítico temos alta seletividade, mas com atenuação da faixa passante, perdendo parte da informação das bandas laterais e conseqüentemente os desvios mais "distantes" (perda de agudos), por outro lado, no acoplamento acima de supercrítico haverá perda de seletividade e redução da relação sinal ruído e aumentando a possibilidade de ocorrer interferências.



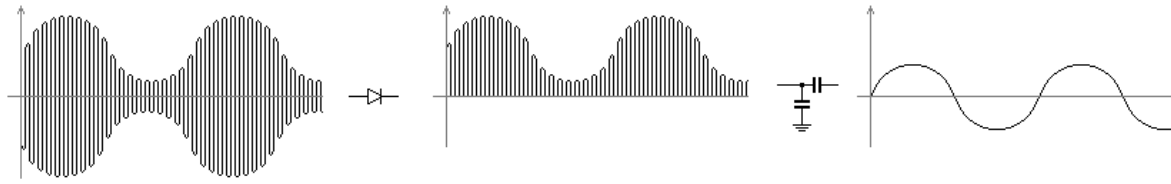
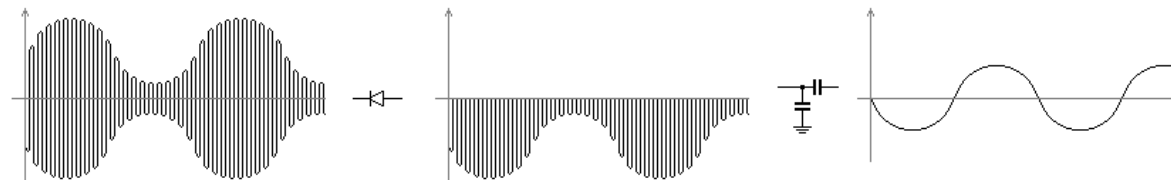
O transformador na saída dos amplificadores (3ª bobina de FI) também tem seu primário sintonizado em 455KHz e é também denominada **bobina de detecção**, por entregar o sinal ao diodo detector.

Como padronização, para os transformadores de FI, temos as cores amarela (1ª BFI), branca (2ª BFI) e preta (3ª BFI - bobina de detecção). Normalmente, a bobina do oscilador local é vermelha.

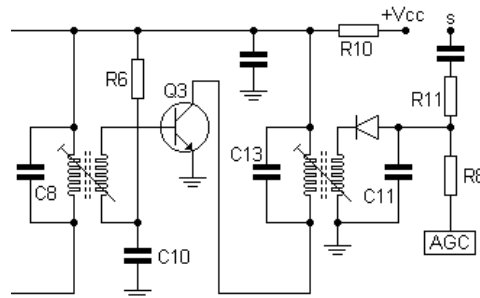
Demodulador:

A demodulação consiste em extrair a informação do sinal RF. Na modulação AM-DSB a informação está nos envelopes (envoltória) da portadora RF. Temos dois envelopes no sinal modulado e os dois contêm toda a informação; apenas um envelope já é o suficiente, portanto extrair a informação da RF podemos usar um circuito retificador de meia onda atuando como detector de envoltória. Se o envelope detectado for o positivo, o circuito será denominado de detecção positiva, por outro lado, se o envelope demodulado for o negativo, será denominado de detecção negativa.

As figuras seguintes procuram mostrar, passo a passo, o processo de recuperação do sinal original (informação de áudio) pelos processos de demodulação positiva e negativa, respectivamente.

Demodulação positiva:*Demodulação negativa:*

Na representação seguinte temos a implementação do último amplificador de FI seguido pelo detector de envoltória, no caso com detecção negativa.

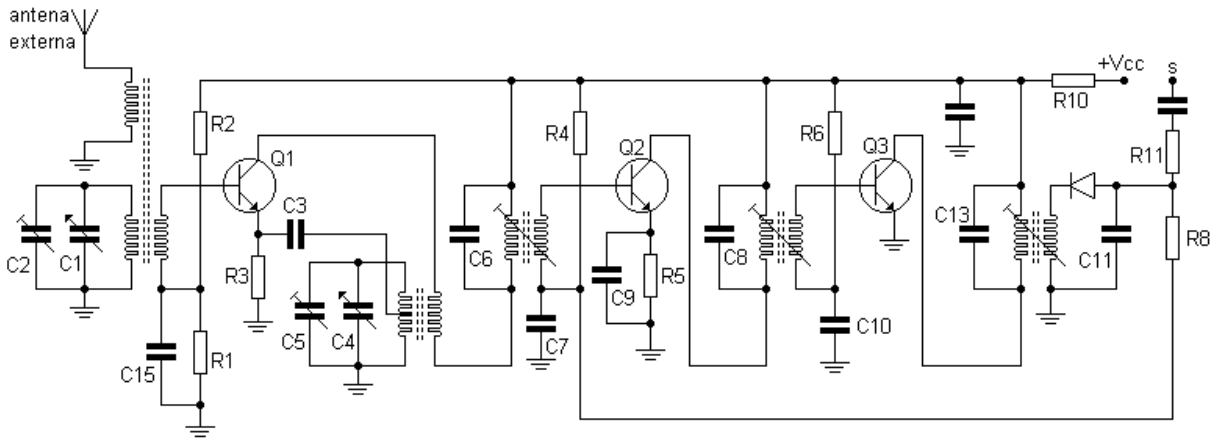
*Controle Automático de Ganho:*

Complementando o circuito temos o circuito de controle automático de ganho (**AGC** - automatic gain control) que tende a linearizar o funcionamento do circuito como um todo. No circuito modelo, o AGC é identificado por R8 e C7.

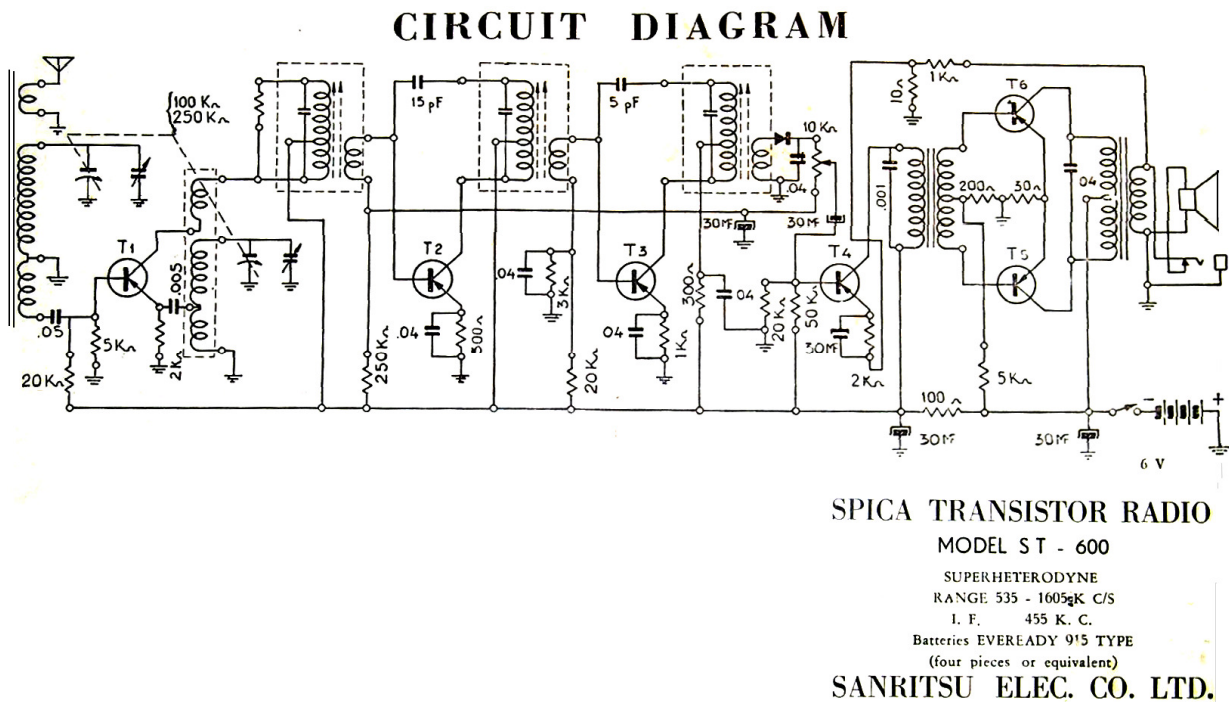
Exemplificando, se a emissora captada tiver forte intensidade de sinal (por causa da distância, potência, etc.), na saída do detector teremos um nível elevado de tensão negativa (detecção negativa). Uma amostragem é, então enviada à base do transistor Q2 (primeiro amplificador de FI), fazendo com que o nível DC presente na sua base decresça, provocando uma queda na amplificação do estágio. Por outro lado, se o sinal for fraco, o nível de tensão "negativa" entregue a C7 será pouco, provocando um incremento na polarização de base de Q2 elevando seu ganho.

Para amostragem de AGC no circuito é utilizada a constante de tempo RC formada por R8 e C7, escolhidos de forma a não sobrecarregar o circuito detector de envoltória. Com base no funcionamento do AGC, teremos para a informação uma tensão por volta de 1V de pico para qualquer estação sintonizada.

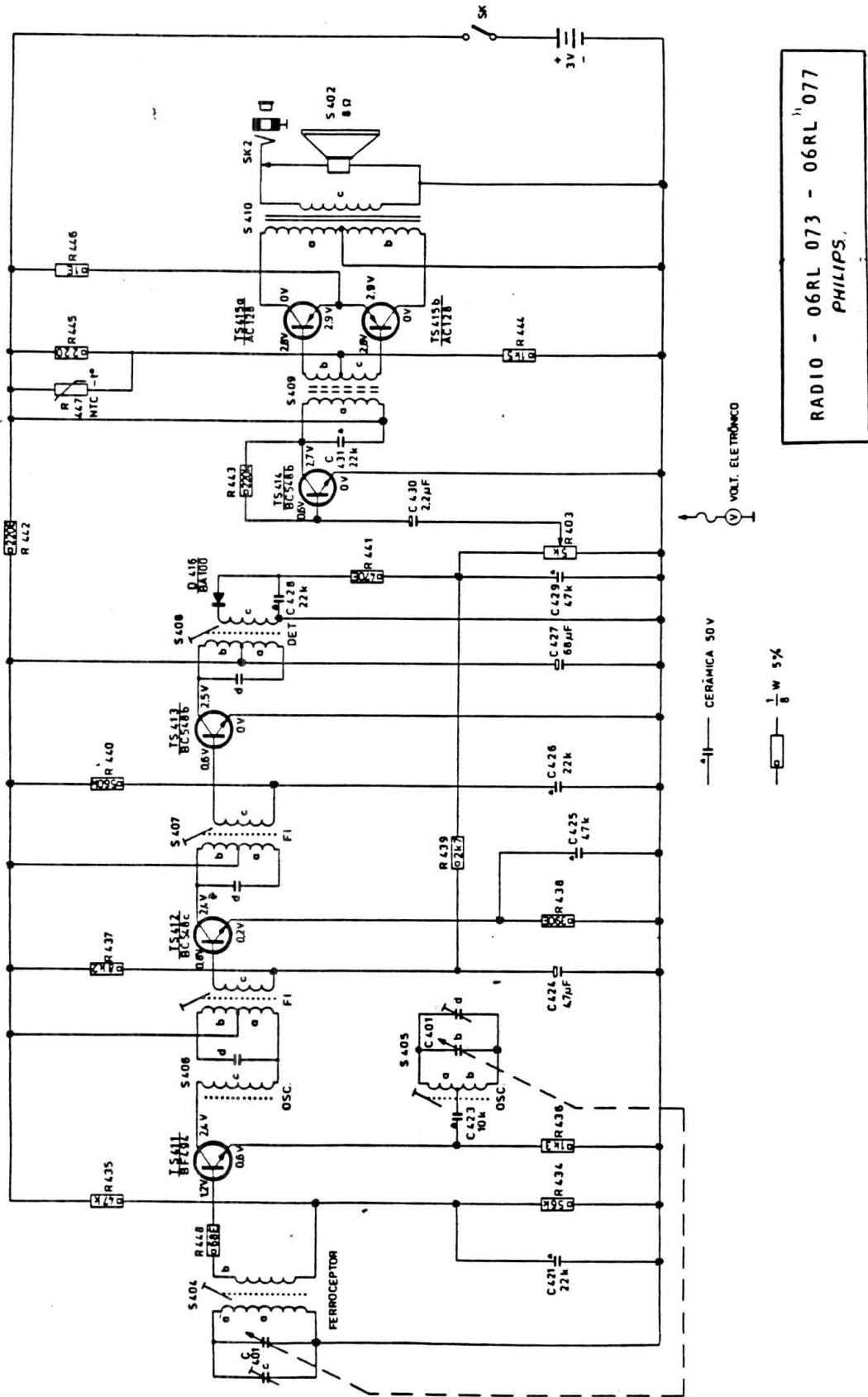
Na figura seguinte temos o diagrama elétrico de nosso circuito modelo; O resistor R10, junto com o capacitor (entre a linha de alimentação e o terra), tem por função reduzir as possíveis flutuações da fonte de alimentação bem como bloquear a passagem da RF para os estágios de amplificação de áudio (via Vcc). O sinal de áudio é retirado pela saída "s", de onde deve seguir para o controle de volume, tonalidade, amplificador de áudio, etc ...



Exemplo de circuito completo de um rádio comercial da década de 1960.



A figura seguinte apresenta o diagrama de um rádio AM/OM da Philips.



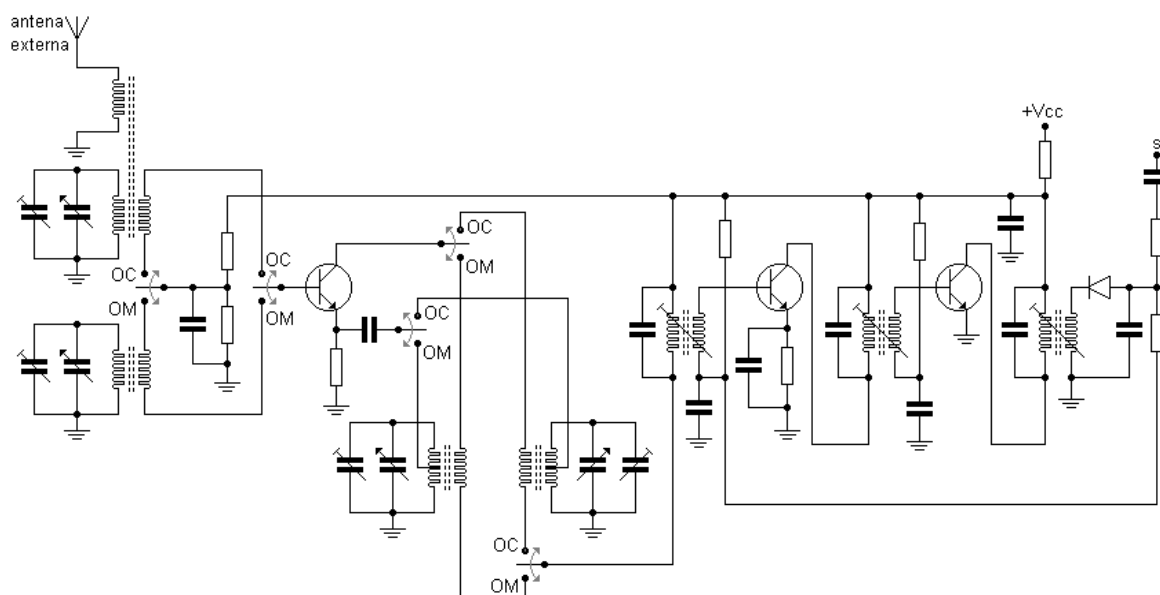
Receptor Multibanda

O receptor para radiodifusão em ondas curtas (SW) tem análise idêntica ao de ondas médias (MW), uma vez que difere apenas quanto a faixa de recepção (entre 2MHz e 26MHz, aproximadamente). Dada a extensão da faixa, para facilidade de recepção (sintonia), normalmente é subdividida em SW1, SW2, SW3, etc...

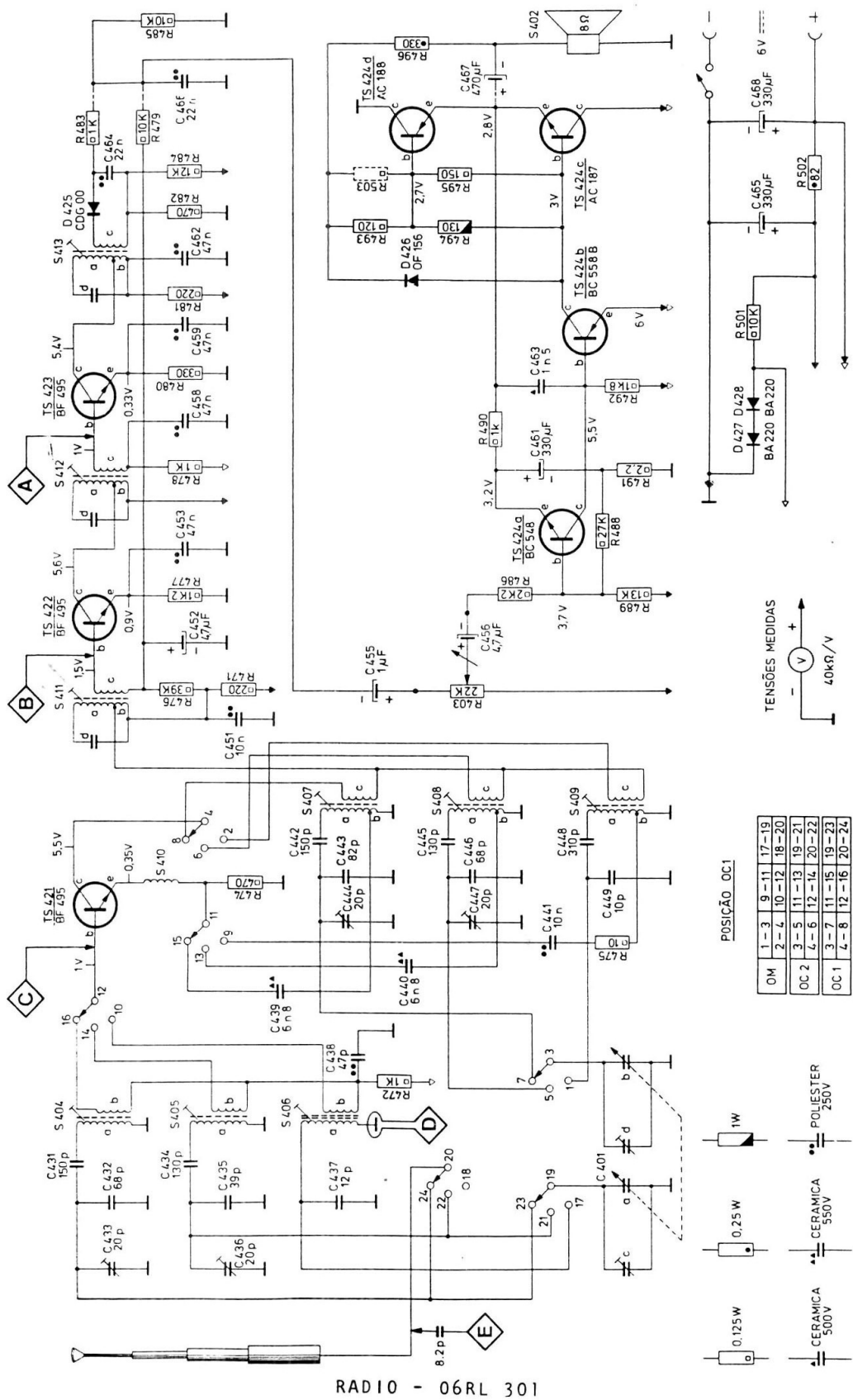
Normalmente não encontramos receptores exclusivamente fabricados para ondas curtas, mas sim um único equipamento que combina a recepção em ondas médias e curtas (MW/SW). O receptor com essas características é denominado multibanda.

No receptor multibanda temos circuitos independentes de sintonia e oscilador local para cada banda. A partir do estágio de amplificação de FI os circuitos são únicos para qualquer faixa ou subfaixa que se deseje captar (ondas médias ou curtas).

No esquema elétrico a seguir temos um circuito modelo deste tipo representado, onde os capacitores dos estágios de sintonia e oscilador local são acoplados mecanicamente, bem como as chaves de seleção OM/OC (MW/SW). A informação de áudio é obtida na saída "s". Note que não estão representados os estágios de tratamento de áudio, como controle de volume, tonalidade e amplificador.

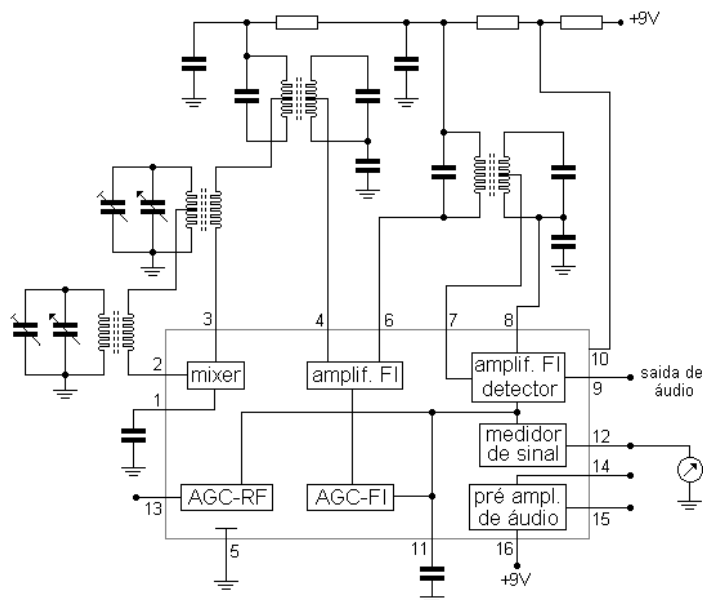


Na página seguinte temos o diagrama esquemático completo de um receptor comercial Philips de três bandas – OM, OC1 e OC2.



Receptor AM-DSB com Circuito Integrado:

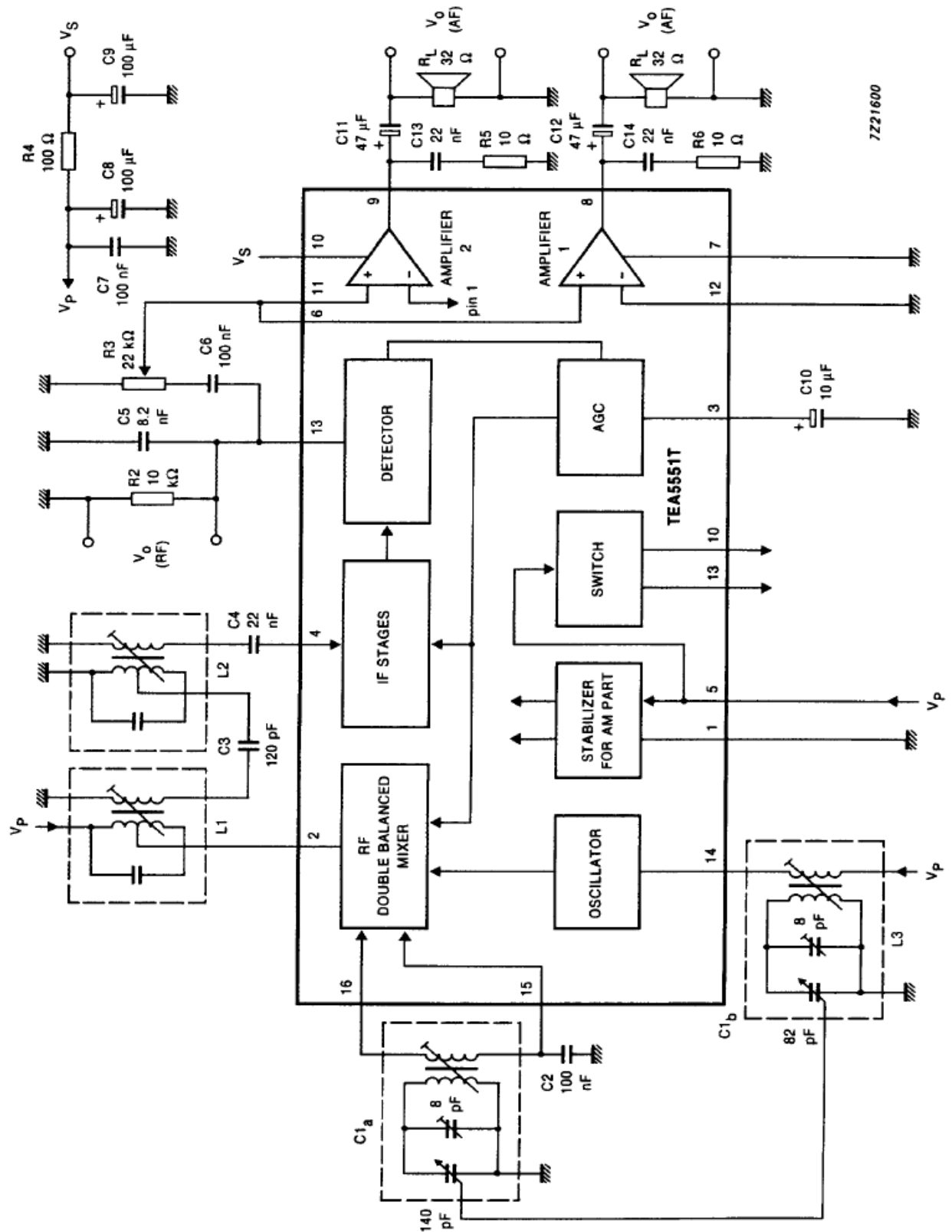
Podemos implementar circuitos receptores AM-DSB bastante simplificados com o uso de circuitos integrados. Um dos CIs mais utilizados é o tipo 3088 (de prefixo LM ou CA) que inclui o **conversor, amplificadores de FI, detector e pré amplificador de áudio**.



- **pino 1** - acesso ao emissor do transistor misturador;
- **pino 2** - entrada de sinal (base do transistor misturador);
- **pino 3** - saída de sinal e alimentação do conversor (coletor do transistor);
- **pino 4** - entrada do primeiro amplificador de FI;
- **pino 5** - terra (substrato);
- **pino 6** - saída de sinal e alimentação do primeiro amplificador de FI;
- **pino 7** - realimentação do segundo amplificador de FI;
- **pino 8** - entrada do segundo amplificador de FI/ detector;
- **pino 9*** - saída do detector;
- **pino 10** - entrada de alimentação. Este CI possui um regulador interno (zener) de 5,6V, por isso necessita de um resistor que limite a corrente de polarização deste pino;
- **pino 11** - filtro de AGC (constante de tempo);
- **pino 12** - saída para medidor de intensidade de sinal;
- **pino 13** - saída de AGC para o amplificador RF do estágio de sintonia (opcional);
- **pino 14*** - entrada para o pré amplificador de áudio;
- **pino 15** - saída do pré amplificador de áudio;
- **pino 16** - entrada de alimentação para o pré amplificador.

* Podemos retirar a informação de áudio do pino 9 e tratá-la antes (por exemplo com controle de tonalidade ou filtros adicionais) e aplicar o sinal ao pino 14 para ser amplificado; o uso do pré amplificador, no entanto, é opcional.

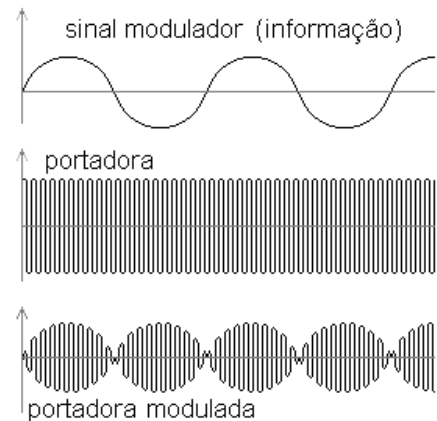
O circuito seguinte é o de aplicação típica extraído do datasheet do TEA5551T.



AM-DSB/SC (Supressed Carrier):

Como o próprio nome sugere, nessa modalidade de transmissão utiliza-se apenas as bandas laterais, dispensando a portadora.

A supressão da portadora implica em uma grande economia de energia. Em contrapartida, como podemos ver pela figura, a envoltória não reproduz a forma de onda do sinal modulator, dificultando a detecção.

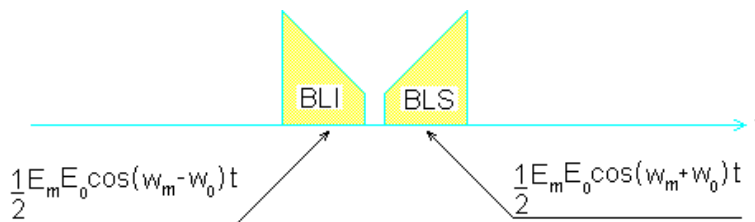


A expressão matemática que representa o sinal DSB/SC é dado pelo produto dos sinais de AF [em(t)] e RF [eo(t)], ou seja:

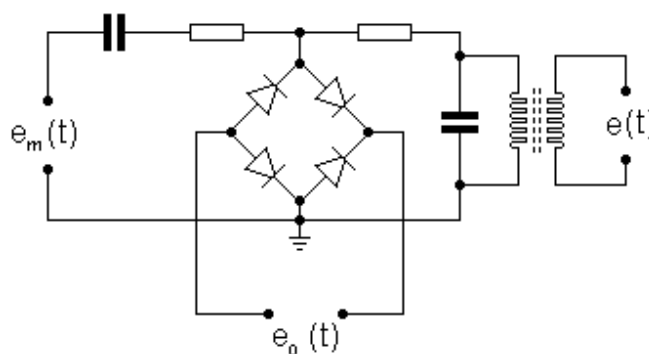
$$e(t) = E_m \cos\omega_m t \cdot E_o \cos\omega_o t$$

$$\text{temos então: } e(t) = E_o \cdot E_m \cdot \left[\frac{1}{2} \cos(\omega_m + \omega_o)t + \frac{1}{2} \cos(\omega_m - \omega_o)t \right]$$

onde percebemos apenas a presença das bandas laterais.



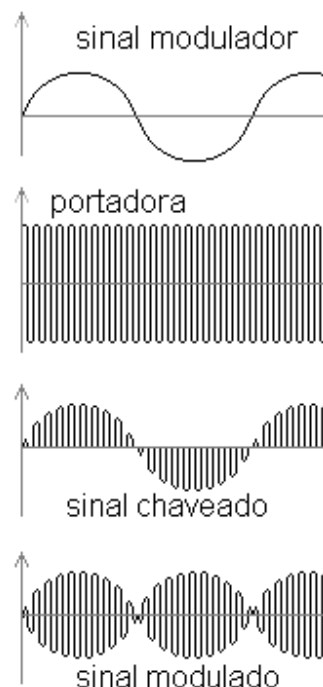
• **Modulador em ponte:**



Vemos neste circuito que quando a portadora polariza diretamente os diodos da ponte, o sinal modulador é aterrado, cancelando sua amplitude neste instante; quando a portadora polariza os diodos da ponte reversamente o sinal modulador passa sem problemas.

Como o chaveamento dos diodos ocorre à frequência da portadora, o sinal obtido possui sua frequência e certa semelhança com o sinal modulador (veja figura ao lado), sendo rico em harmônicos e, onde um simples circuito sintonizado termina de compor a modulação em DSB-SC.

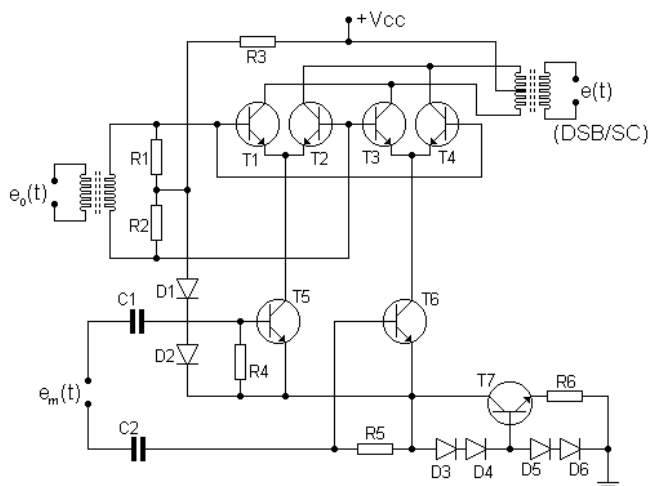
É importante notar que, neste tipo de circuito, se os diodos não forem perfeitamente iguais haverá um "resíduo de portadora" a ser considerado na saída.



• **Modulador balanceado:**

Entre os circuitos moduladores DSB/SC, o mais eficiente é o modulador simétrico balanceado, disponível sob a forma de CI's em várias versões.

No circuito seguinte, temos T1/T2 e T3/T4 formando dois pares diferenciais. A portadora é aplicada por meio de um transformador de entrada, mas não aparece nada na saída caso não haja um sinal modulador presente, já que as saídas dos pares diferenciais cancelam-se mutuamente.



Os transistores T5 e T6 formam outro par diferencial, ao qual é entregue o sinal modulador. Isto faz com que os pares T1/T2 e T3/T4 saiam da condição balanceada, gerando na saída um sinal proporcional ao produto dos sinais de AF e RF.

A demodulação dos sinais DSB/SC é obtida por meio de um detector de produto, cuja saída também é formada pelo produto das duas tensões presentes em sua entrada e uma das quais é o próprio sinal DSB/SC [e(t)] e a outra, a portadora regenerada [eo(t)].

$$\begin{aligned} \text{Matematicamente:} \quad & \text{sinal DSB/SC} & = & e(t) = \cos\omega_0 t \cdot \cos\omega_m t \\ & \text{portadora regenerada} & = & e_0(t) = \cos(\omega_0 t + j) \\ & \text{saída} = e_s(t) = e(t) \cdot e_0(t) & = & \cos\omega_0 t \cdot \cos\omega_m t \cdot \cos(\omega_0 t + j) \end{aligned}$$

$$e_s(t) = \frac{1}{2} \cos\omega_m t \cdot [\cos j + \cos(2\omega_0 t + j)]$$

Em seguida, um simples filtro passa baixas remove as componentes de alta frequência, deixando apenas o sinal útil (informação):

$$e_s(t) = \frac{1}{2} \cos\omega_m t \cdot \cos j$$

A portadora restaurada, necessária ao processo de demodulação, pode ser obtida nas próprias bandas laterais, embora com dificuldades práticas; por esse motivo, uma pequena fração da portadora original é irradiada juntamente com o sinal, sob a forma de frequência piloto, a fim de facilitar sua regeneração na etapa receptora. Neste processo é indispensável a utilização de sistemas **PLL** (Phase Locked Loop), pois se a portadora restaurada defasar-se de 90° , a saída de AF (áudio frequência) será anulada.

Uma das principais aplicações da modulação AM-DSB/SC é na composição do sinal composto de áudio (multiplexação) como subportadora para as informações que possibilitam a demodulação para radiodifusão FM em estéreo.

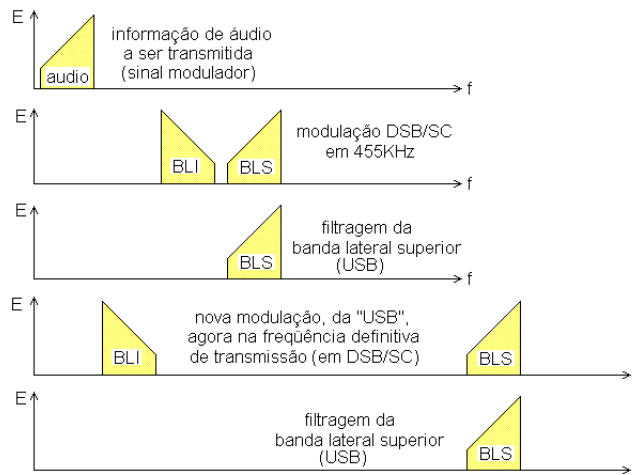
AM-SSB (Single Side Band):

A modulação AM/SSB é a que apresenta maior rendimento quanto a faixa espectral ocupada e aproveitamento de potência de transmissão, pois transmite apenas uma das bandas laterais que contém a informação.

Quando o sinal transmitido é a BLS (banda lateral superior), é denominado **AM-SSB/USB (Upper Side Band)**; quando se trata da BLI (banda lateral inferior), é denominado **AM-SSB/LSB (Lower Side Band)**.

A forma mais simples de gerar sinais SSB utiliza um sinal DSB/SC que é filtrado para que seja transmitida apenas uma das bandas laterais. As curvas dos filtros são definidas em dB por oitava (onde uma oitava representa duas vezes e meia a frequência anterior), de onde conclui-se que quanto menor a frequência da portadora, mais fácil será a filtragem.

Por essa razão, o sinal SSB é normalmente modulado em uma portadora de frequência muito inferior à do transmissor (normalmente em 455KHz) e só depois da filtragem a frequência é elevada até o valor final. A figura seguinte representa graficamente o que foi exposto, onde temos no eixo "x" a frequência e no eixo "y" a amplitude. Note que a frequência final de transmissão se dá 455KHz acima da última portadora, fato que deve ser levado em consideração ao se determinar a frequência de transmissão do equipamento.

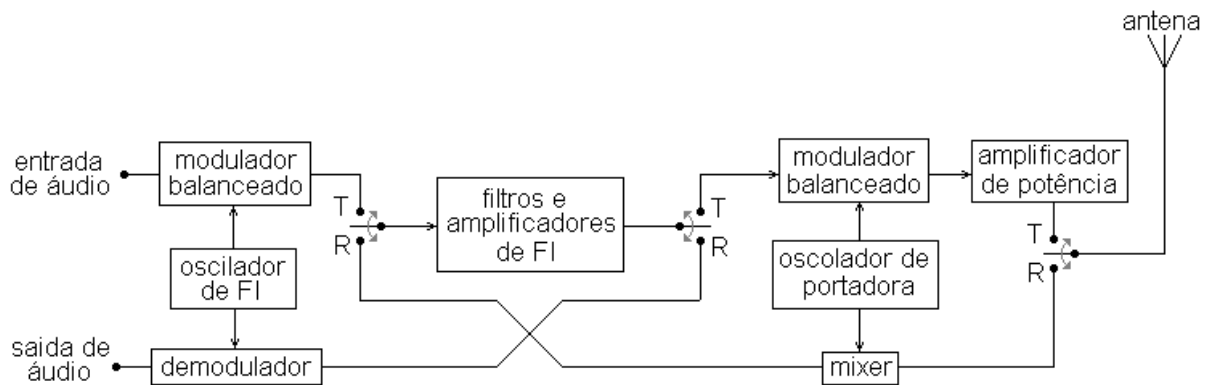


* Os **filtros cerâmicos** podem rejeitar em até 50dB a banda lateral que se deseja atenuar.

Assim como no AM-DSB/SC, no AM-SSB a demodulação é feita reinjetando-se uma portadora ao sinal recebido, fazendo o produto dos sinais e uma posterior filtragem passa-baixas.

Os circuitos usados para gerar o batimento (produto síncrono) entre as frequências são os mesmos circuitos moduladores AM-DSB/SC (balanceado, em ponte, em anel), substituindo-se apenas o filtro passa-faixas colocado na saída por um filtro passa-baixas com frequência de corte na faixa de AF.

O Transceptor AM-SSB:



O termo transceptor resulta da contração de "transmissor/receptor" e sugere bem a atuação do equipamento. O transceptor AM-SSB é utilizado nas comunicações ponto-a-ponto por radioamadores ou operadores da faixa do cidadão. Esses aparelhos podem ser simplificados através da utilização de blocos comuns ao transmissor e ao receptor, possibilitando transmitir e receber sinais (mas não simultaneamente) através do comando dado por um interruptor de pressão, normalmente localizado no próprio microfone (PTT - push to talk - pressione para falar).

Pelo diagrama do transceptor, verificamos que a etapa de amplificação e filtragem de FI são comuns ao transmissor e ao receptor sendo controlados pela chave PTT ("push-to-talk")

Com relação aos circuitos já vistos, o transmissor SSB traz como característica própria a frequência do oscilador de subportadora, que difere ligeiramente de 455KHz. Ocorre que os filtros de FI (mecânicos ou cerâmicos) usados em SSB tem sua frequência centrada em 455KHz, se utilizarmos uma subportadora de 455KHz não haverá supressão da banda lateral não transmitida. Para evitar esse inconveniente, costuma-se sintonizar esse oscilador em 453.5KHz para transmissão em USB e em 456.5KHz para transmissão em LSB.

- **Modulador balanceado:**

É responsável pela modulação do sinal em AM/DSB-SC, essencial para originar o sinal SSB. Podemos utilizar nesta função tanto um modulador balanceado a transistores como um modulador em anel.

- **Amplificador e filtros de FI:**

É praticamente idêntica a etapa de FI dos receptores AM/DSB, trabalhando inclusive na mesma frequência (455KHz).

- **Oscilador de portadora:**

Gera a frequência final de portadora, na qual será transmitido o sinal modulado. Deve ser um oscilador a cristal, garantindo a estabilidade de frequência.

- **Misturador:**

Faz parte do receptor e tem como função primordial gerar o batimento de frequências entre o sinal captado pela antena e o oscilador a cristal, que é utilizado para gerar a portadora final na transmissão, na recepção este mesmo oscilador promove o sinal "CW" para os batimentos e conseqüentemente a conversão à FI.

- **Demodulador:**

Na demodulação é utilizado um modulador balanceado responsável pelos batimentos, onde o batimento da diferença resulta na faixa de áudio. Dessa forma com um filtro passa baixas eliminamos as componentes de RF restando apenas o áudio.

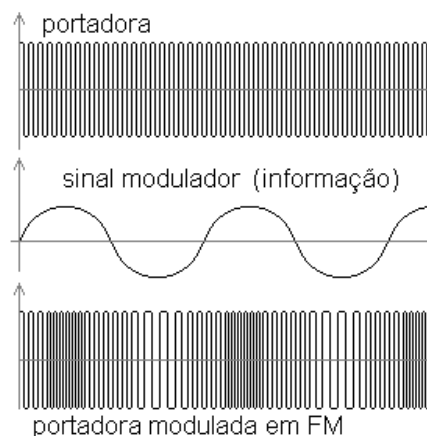
Comparando os sistemas AM-DSB e AM-SSB podemos verificar uma grande economia no espectro de frequências para o SSB (10KHz para o DSB e 4KHz para o SSB); com relação a potência irradiada, em SSB toda ela é concentrada na transmissão da informação (alto rendimento); porém, quanto a complexidade do equipamento o SSB necessita de maior precisão nos circuitos, elevando em muito a complexidade e o custo final do conjunto.

Modulação Angular

Na modulação angular, a informação é usada para variar a freqüência (**FM**) ou a fase (**PM**) da portadora RF.

FM (Frequency Modulation):

Em FM, na ausência de modulação (sinal AF), a freqüência de transmissão permanece centrada (na freqüência fundamental da portadora). Na modulação a portadora sofre desvios acima da freqüência (semiciclo positivo da informação AF) e abaixo (semiciclo negativo da informação AF).



No caso de radiodifusão em FM, o máximo desvio permitido é de 75KHz e em televisão (canal de som) 25KHz. Para radiocomunicação em VHF e UHF temos um desvio máximo de 5KHz.

O índice de modulação (β) na modulação em freqüência é dado por:

$$\beta = \frac{\text{desvio da portadora}}{\text{freqüência moduladora}}$$

Exemplificando, na radiodifusão FM, temos uma freqüência máxima do sinal modulador de 15KHz. Como o máximo desvio permitido é de 75KHz, temos:

$$\beta = \frac{75\text{KHz}}{15\text{KHz}} \quad \text{portanto: } \beta = 5$$

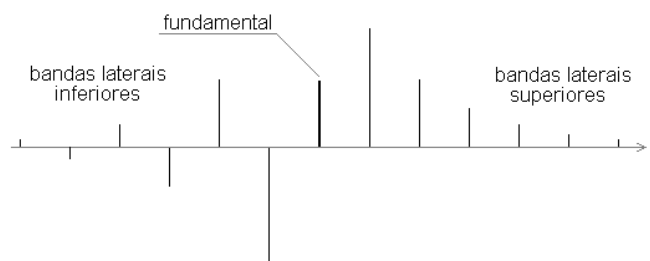
Matematicamente a modulação em FM é dada por:

$$\begin{aligned} \text{portadora} = e(t) = A. \{ & J_0.\beta.\text{sen}\omega_0 t + \\ 1^\circ \text{ par} & + J_1.\beta. [\text{sen}(\omega_0 + \omega_m)t - \text{sen}(\omega_0 - \omega_m)t] \\ 2^\circ \text{ par} & + J_2.\beta. [\text{sen}(\omega_0 + 2\omega_m)t + \text{sen}(\omega_0 - 2\omega_m)t] \\ 3^\circ \text{ par} & + J_3.\beta. [\text{sen}(\omega_0 + 3\omega_m)t - \text{sen}(\omega_0 - 3\omega_m)t] \\ 4^\circ \text{ par} & + J_4.\beta. [\text{sen}(\omega_0 + 4\omega_m)t + \text{sen}(\omega_0 - 4\omega_m)t] + \dots \} \end{aligned}$$

(faixa lateral superior)

(faixa lateral inferior)

Pela expressão vemos que a modulação em FM gera espectros com largura de faixa infinita. O termo " J_n " indica uma função de Bessel cuja magnitude diminui com incremento de " n ".



Verificamos também que as faixas laterais inferiores de número ímpar têm suas fases invertidas de 180° com respeito à faixa lateral superior correspondente.

Na prática, o valor formado por essas bandas laterais é infinito; entretanto apenas uma quantidade limitada das mesmas tem nível suficiente para exercerem alguma influência. Uma regra geral, para determinar a banda passante (B_w), válida sempre que β for maior que a unidade é a seguinte:

$$B_w = 2.(\beta+1).f_m$$

onde:

B_w = largura de faixa a -3 dB

f_m = máxima freqüência moduladora

β = índice de modulação

Assim sendo, a mínima largura de faixa para FM "mono" é de:

$$B_w = 2.(5+1).15 = 180 \text{ KHz}$$

No caso de FM "estéreo", o índice de modulação foi escolhido prevendo-se compatibilidade, de modo que a faixa "mono" pudesse ser usada na maior freqüência moduladora (53KHz).

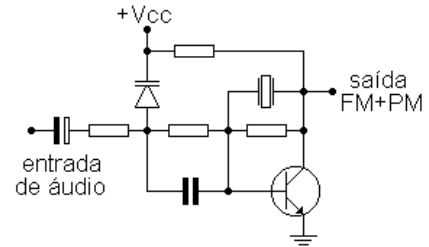
Em uma comparação entre os sistemas de radiodifusão comercial de AM e FM, podemos verificar o seguinte:

- temos uma banda de áudio passante, ditada pela máxima freqüência do sinal modulador, de 5KHz para o AM e de 15KHz para o FM, garantindo a superior qualidade do FM;
- para uma mesma relação sinal/ruído e mesma banda passante (estreita), o FM proporciona uma economia de mais de 50% na potência de transmissão;

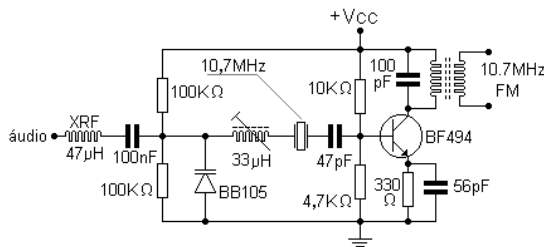
Esse sistema de "FM de banda estreita" é conhecido como **NBFM** (narrow band FM) e destina-se essencialmente à comunicação de voz e é aplicado em emissões de VHF e UHF.

A modulação em FM de banda estreita consiste basicamente em limitar o índice de modulação para restringir a largura de faixa ocupada ($\beta < 0,2$). Assim sendo, o sinal resultante possui apenas duas bandas laterais, como em AM-DSB; a diferença em relação a este é a inversão de fase da banda lateral inferior no NBFM.

Na figura ao lado temos a representação esquemática de um circuito básico de modulação por varicap de um oscilador a cristal produzindo FM e PM.



A figura seguinte mostra um modulador FM com varicap, onde a frequência é controlada a cristal.



Neste circuito temos um oscilador controlado a cristal, onde o transistor (BF 494) possui uma capacitância base-emissor da ordem de 25pF e de 1pF para a junção coletor-base.

Essas capacitâncias são responsáveis pela realimentação coletor-emissor possibilitando a oscilação do circuito de base.

PM (Phase Modulation):

A diferença entre FM e PM consiste no índice de modulação (β), que é constante para a modulação em fase; ou seja, a relação entre o desvio da portadora e a frequência moduladora é constante.

No modulador em fase, utiliza-se um filtro cuja frequência central seja função da tensão moduladora. Assim, o ângulo de fase do sinal de saída será função da amplitude instantânea do sinal modulador.

A expressão genérica que rege a modulação em fase é:

$$e(t) = E_o \cdot \cos[\omega t + K_p \cdot em(t)]$$

onde:

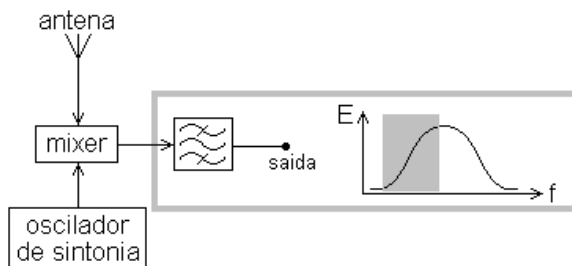
- ωt = fase instantânea da portadora, cuja velocidade angular ω é constante
- K_p = constante do circuito modulador PM, que converte as variações de tensão da informação $em(t)$ em variações de fase.
- E_o = valor máximo atingido pela portadora sem modulação.

Na prática, o sistema de modulação em PM é pouco utilizado.

Receptores FM

O nome WBFM vêm de *Wide Band Frequency Modulation* (Modulação em Frequência com Banda Larga), que rege a radiodifusão comercial em FM. Como características básicas deste sistema podemos citar a largura de faixa para transmissão (informação) de 15KHz e desvio de frequência de até 75KHz em torno da frequência portadora. Podemos citar ainda a faixa entre 88MHz e 108MHz destinada ao FM comercial.

Podemos implementar circuitos receptores de FM de forma relativamente simples, através de circuitos que realizam a sintonia do sinal por intermédio de batimentos, como mostra o diagrama em blocos:

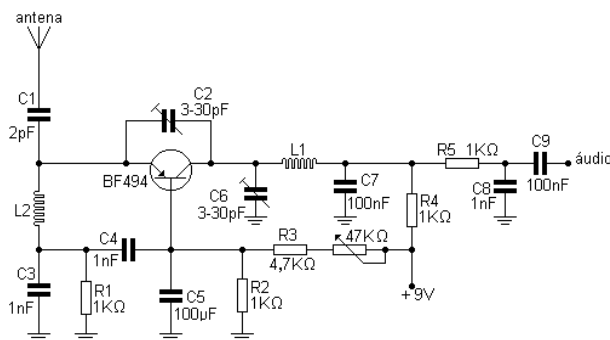


O oscilador de RF proporciona a sintonia do circuito. Ele deve oscilar próximo a mínima frequência de transmissão da emissora, de modo que o batimento da diferença gerado, no misturador, se dê em baixas frequências e contenha os desvios da portadora original. Por exemplo, se desejarmos captar uma emissora em 100.1MHz (com os desvios padrões de +/- 75KHz) devemos colocar o oscilador de RF próximo de 100MHz, de modo que o batimento da diferença, produzido no misturador, resulte de 25KHz a 175KHz.

O filtro passa faixa é sintonizado próximo ao limite superior da máxima frequência obtida (por ex. 200KHz), proporcionando uma relação de transferência de frequência para tensão.

Note que se tivermos uma emissora operando em 99.9MHz teremos o mesmo batimento da diferença e as informações das duas emissoras (99.9MHz e 100.1MHz) sairiam "misturadas".

Tais circuitos são denominados **Súper Regenerativos** e em face a baixa seletividade, este tipo de receptor não encontra emprego em circuitos comerciais, sendo limitado ao uso experimental. No circuito apresentado a seguir temos um receptor experimental súper regenerativo:



A polarização do transistor fica a cargo de R1, R2, R3, P1 e R4.

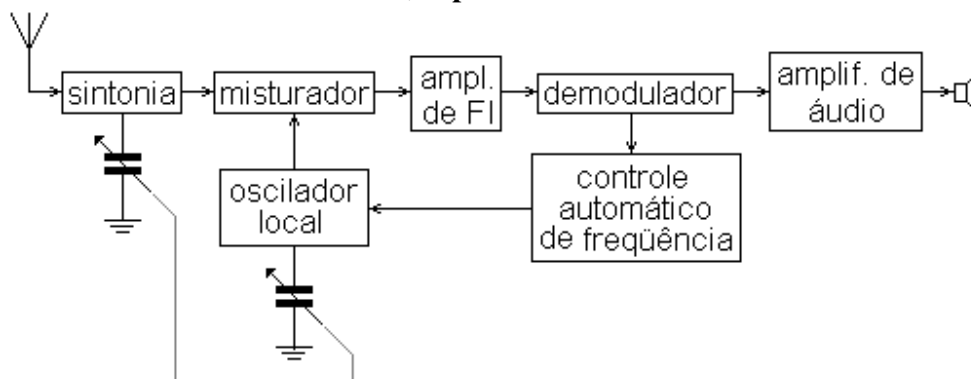
O capacitor C2 garante a oscilação do transistor, determinando a faixa de sintonia em que deve operar.

A sintonia é constituída por C6 e L1. R5, C8 e C9 formam um filtro de onde retiramos a informação de áudio para ser amplificada.

O circuito apresentado, por ser experimental, possui ainda uma reduzida seletividade e a qualidade da recepção depende da intensidade do sinal captado na antena.

Receptor Súper Heteródino

Os receptores comerciais de FM foram desenvolvidos visando o máximo aproveitamento da qualidade que o WBFM proporciona. Dentro destes conceitos, os diversos receptores do mercado obedecem a uma estrutura básica, **super heteródina**.



A estrutura apresentada mostra que o receptor de FM tem grande parte de sua atuação muito semelhante ao receptor AM-DSB, o que confirmamos na breve descrição a seguir:

- **Sintonia:**

é composta por dois ou três circuitos ressonante LC, ajustáveis pelo capacitor variável de sintonia, selecionando a portadora desejada (entre 88MHz e 108MHz). Entre os estágios de seleção da portadora temos um amplificador de RF que eleva o nível do sinal para que, depois de selecionado, o sinal possa ser entregue ao misturador;

- **Oscilador local:**

possui um circuito tanque LC, ajustável por um capacitor variável acoplado mecanicamente ao capacitor de sintonia, de forma a gerar um sinal CW (constant wave) de frequência 10.7MHz acima da portadora sintonizada;

- **Misturador:**

promove a interação do sinal captado com o sinal CW do oscilador local. Na saída desse bloco teremos vários sinais, resultados dos batimentos, dos quais apenas o batimento da diferença é aproveitado (10.7MHz);

- **FI:**

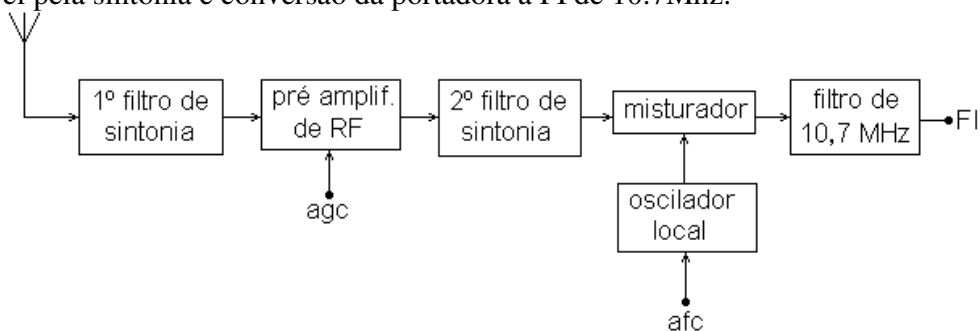
é composto por amplificadores, onde cada um é precedido e seguido de filtros ressonantes em 10.7MHz.

- **AFC:**

assegura que a frequência média de FI fique centrada em 10.7MHz pois, como a informação está nos desvios de frequência que ocorrem em torno de uma frequência central, esta precisa ser muito bem definida.

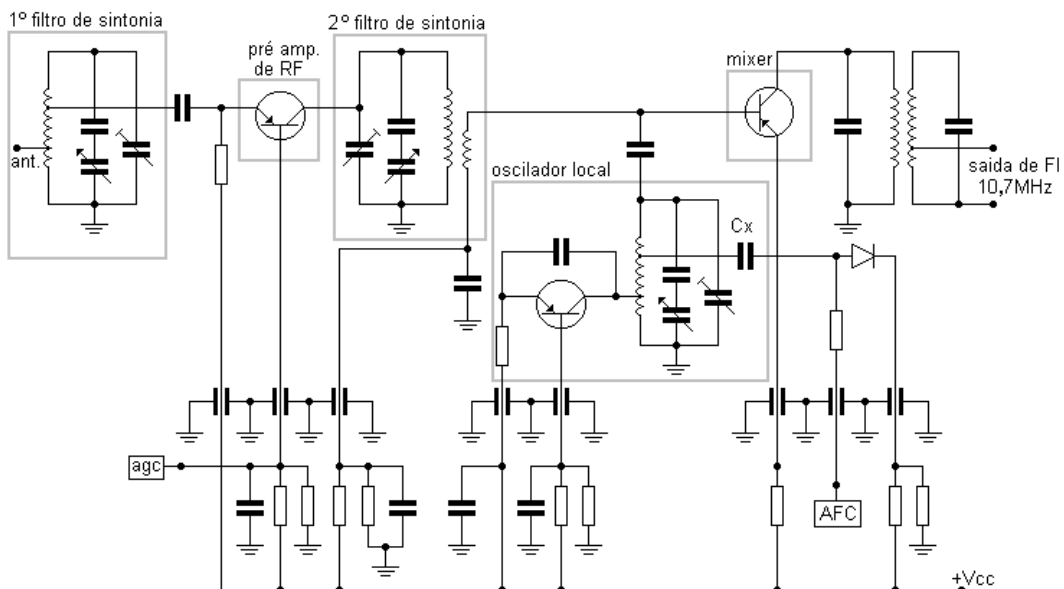
Sintonia e Conversor:

Em muitos receptores de qualidade é usado um único bloco, designado bloco de sintonia (ou monobloco FM), que engloba as funções de amplificador seletivo de RF e conversor, sendo responsável pela sintonia e conversão da portadora à FI de 10.7MHz.



Em tais circuitos é comum encontrarmos uma entrada de **AGC** (*automatic gain control*) para o pré-amplificador de RF, além de dois ou três filtros de sintonia - elevando a seletividade, e uma entrada para **AFC** (*automatic frequency control*).

A seguir temos representado o esquema elétrico de um circuito-modelo que segue a diagramação de blocos exposta na figura anterior:



Circuito de sintonia:

A frequência portadora desejada é selecionada pelo circuito LC conectado a entrada de antena. O transistor pré amplificador de RF recebe o sinal em seu emissor e fornece uma primeira amplificação ao sinal; na base deste transistor é aplicado também um sinal de AGC (automatic gain control) que garante que todas as emissoras captadas tenham, na saída desse amplificador, um nível de tensão semelhante (emissoras distantes necessitam de maior amplificação que as locais). Na saída do pré-amplificador de RF (coletor do transistor) temos segundo filtro sintonizado na frequência portadora desejada, de forma a acentuar a seletividade. Deste segundo filtro retiramos o sinal da portadora RF sintonizada.

Oscilador local:

O circuito oscilador local tem como elemento ativo um transistor realimentado (capacitor entre coletor e emissor) com sua frequência de operação determinada por um tanque de oscilação de composição semelhante a dos filtros de sintonia. A atuação do AFC (automatic fequency control) é comandada por um nível de tensão contínua que controla o grau de condução do diodo provocando uma maior ou menor influência do capacitor "Cx" no circuito tanque, "ajustando" assim a sua frequência.

Misturador (mixer):

O acoplamento do sinal CW do oscilador local e a portadora sintonizada se dá pela base do transistor misturador. Esse transistor fornece uma amplificação do sinal RF e o entrega ao filtro de saída; este transformador possui seu primário e secundário sintonizados em 10.7MHz, de forma a deixar passar apenas o sinal FI (batimento da diferença = 10.7MHz) e normalmente é "blindado", com uma carcaça de alumínio ligada à massa, para evitar interferência de RF.

Embora não esteja explícito no esquema, esses blocos de sintonia normalmente acomodam também, os capacitores variáveis e trimmers dos estágios de sintonia e oscilador local para AM-DSB.

Por fim, o conjunto todo é blindado com uma carcaça de alumínio ou ferro, para evitar interferências.

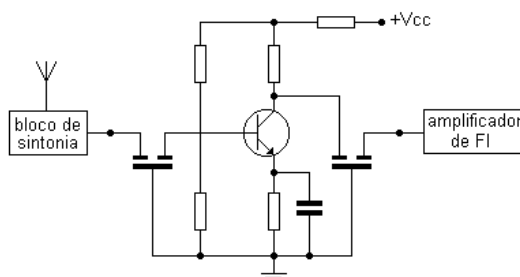
Filtros de FI:

O estágio de FI é composto por filtros sintonizados em **10.7MHz** na entrada e na saída de cada amplificador. Para acoplamento indutivo de FI em FM não há uma seqüência de cores padronizadas para as bobinas, como em AM-DSB; em circuitos mais elaborados são utilizados filtros cerâmicos e amplificadores integrados.

Os filtros cerâmicos possuem uma maior estabilidade e frequências de corte mais definidas, proporcionando a implementação de amplificadores de FI com poucos filtros sintonizados e alta seletividade.

É importante lembrar que a informação, em FM, está nos desvios de frequência. Assim trona-se primordial o emprego de filtros de FI estáveis e de alta seletividade, sob pena de deterioração do sinal de áudio extraído (informação).

O circuito abaixo mostra um estágio típico de filtragem de FI; neste caso são usados dois filtros cerâmicos resultando em uma altíssima seletividade. A dupla filtragem é possibilitada pelo emprego do amplificador a transistor entre os filtros.



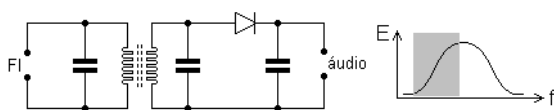
Demoduladores de FM:

A demodulação consiste em transformar os desvios de frequência em variações de amplitude correspondentes. Existem diversos circuitos para este fim, entre os quais os principais são: discriminador, detector de relação e o detector de quadratura.

Discriminadores:

Para se recuperar o sinal modulador (informação) do sinal modulado em frequência, podemos utilizar um circuito cuja saída varie linearmente com a frequência. Dessa maneira transformamos as variações de frequência do sinal modulado em FM, em variações de amplitude. Em seguida, fazemos uma detecção de envoltória. Esse processo é conhecido como **detecção por inclinação**.

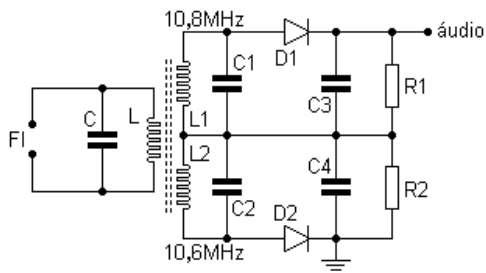
A figura a seguir procura elucidar o exposto:



O secundário do transformador é sintonizado pouco deslocado da frequência FI, de modo que atue como dispositivo de transferência de frequência para nível de tensão.

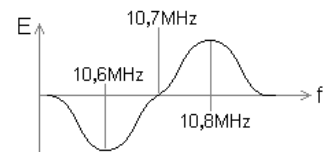
Para elevar o rendimento deste tipo de demodulador FM, podemos lançar mão do **detector FM balanceado**. Trata-se de um circuito detector de envoltória duplo, onde os secundários do transformador estão sintonizados em frequências diferentes, em 10.8MHz e 10.6MHz, enquanto que o primário é ressonante em 10.7MHz.

Vejam os a figura seguinte:

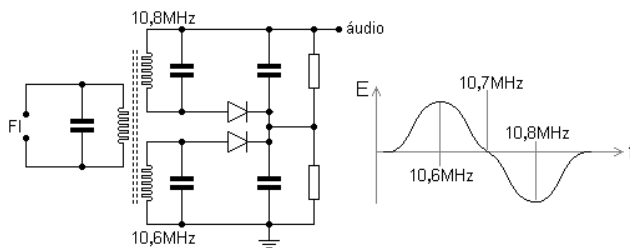


O sinal FI entra pelo primário do transformador (ressonante em 10.7MHz) e é induzido simultaneamente em L1C1 e L2C2. Se o sinal estiver na frequência central de 10.7MHz, tanto L1C1 como L2C2 estarão a 0.1MHz (100KHz) da sua frequência de ressonância; como resultado, teremos a mesma intensidade de condução em D1 e D2, resultando em saída nula.

Nos desvios positivos (acima de 10.7MHz) L1C1 tem maior corrente induzida que L2C2, fazendo com que D1 conduza mais que D2 e o potencial de saída de áudio se eleva; nos desvios negativos (abaixo de 10.7MHz) L2C2 tem maior corrente induzida que L1C1, e D2 passa a conduzir mais que D1. Como o catodo de D2 está ligado à massa, força a tensão na derivação central do transformador a baixar.

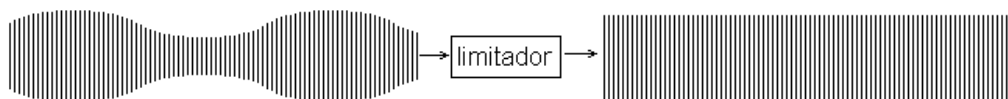


O circuito representado na figura seguinte também apresenta um demodulador, de análise idêntica ao anterior. Sua saída, porém, apresenta uma defasagem de 180° em relação àquele.



Pela análise dos circuitos apresentados verificamos que estes circuitos, denominados **discriminadores**, são sensíveis não só às variações de frequência do sinal como também à sua amplitude (a intensidade do sinal induzido nos secundários depende do nível no primário, além de sua frequência).

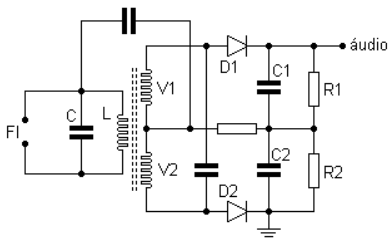
Por esse motivo, todo demodulador do tipo discriminador precisa ser precedido por um estágio limitador, que garante o nível constante da amplitude do sinal FI a ele aplicado.



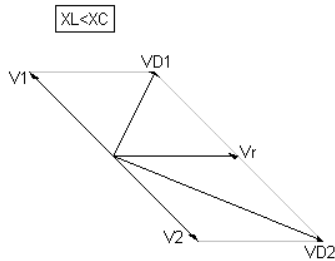
Em circuitos discretos o limitador é implementado no último amplificador de FI. Seu transistor é polarizado de forma a entrar em saturação a partir de determinado nível, otimizado pela entrada de AGC (automatic gain control). Os filtros de entrada e saída são sintonizados em 10.7MHz.

Discriminador Foster-Seely:

Um dos circuitos discriminadores mais conhecidos e largamente utilizado é o denominado "Foster Seely".

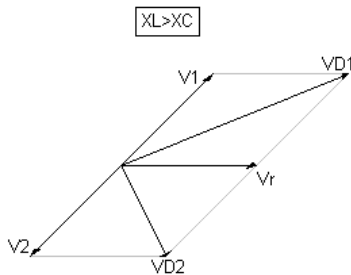
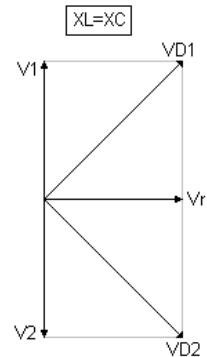


O discriminador Foster-Seely é formado por um transformador com seu primário e secundário sintonizado na frequência central de FI. O capacitor entre o primário e secundário transmite o potencial referencial da entrada para o terminal central do transformador.



Abaixo da frequência de ressonância, as tensões sofrem um atraso devido a atuação capacitiva do circuito ($XL < XC$). Nestas condições, $V2$ estará a menos de 90° de defasagem da referência (Vr), enquanto que $V1$ estará mais distante. Assim sendo, a resultante $VD2$ resulta maior que $VD1$.

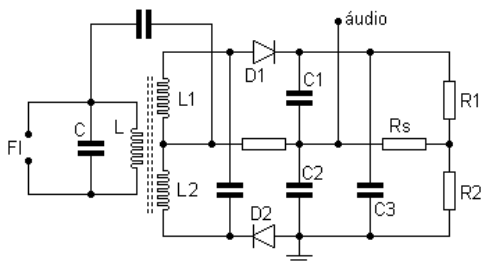
Na condição de ressonância, as tensões $V1$ e $V2$ estão a 90° da referência ($XL = XC$). Nestas condições, as resultantes $VD1$ e $VD2$ terão mesma amplitude e os dois diodos conduzirão igualmente.



Acima da frequência de ressonância, as tensões $V1$ e $V2$ estão adiantadas devido a atuação indutiva do conjunto ($XL > XC$), fazendo com que $V1$ esteja a menos de 90° da referência, enquanto que $V2$ estará a mais de 90° de Vr . Dessa forma $VD1$ resulta maior que $VD2$.

Detector de Relação:

Outro tipo de demodulador FM é o **detector de relação**, que tem seu circuito apresentado na figura a seguir. Como vantagem sobre o discriminador, podemos citar uma menor sensibilidade às variações de amplitude, dispensando o limitador.



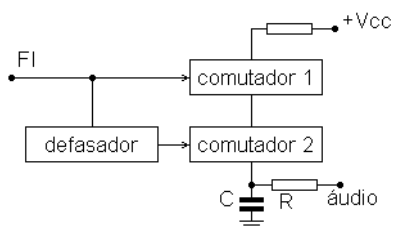
Sempre que o sinal FI permanece na frequência central (frequência de repouso), o secundário do transformador ($L1$ e $L2$) encontra-se em ressonância e as tensões em $C1$ e $C2$ são iguais mas de polaridades opostas. Neste caso, a tensão sobre o resistor de saída (R_s) é nula. Para o correto funcionamento deste circuito, a tensão entre as placas de $C3$ deve permanecer estável (constante). Quando o sinal FI desloca-se de sua frequência central (desvios), variam as tensões sobre $C1$ e $C2$, mas a soma vetorial dessas

tensões devem permanecer constante, igual a tensão de C3.

Graficamente tudo ocorre como no circuito anterior (discriminador Foster Seely).

Detector de Quadratura:

Um dos circuitos mais modernos usados para demodulação em FM é o detector de quadratura. Seu diagrama em blocos pode ser visto na figura a seguir:



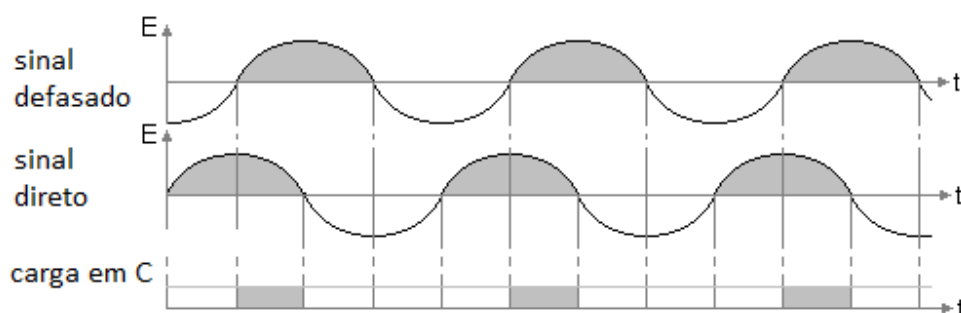
O bloco comutador é formado por um transistor operando como chave (corte/saturação). O bloco defasador é um circuito LC ajustado para exibir uma defasagem de 90° na frequência central (FI).

Como a corrente nos comutadores dependem do acionamento simultâneo do par, através de uma constante de tempo adequada, teremos a amplitude do sinal de saída obedecendo aos desvios de fase (e conseqüentemente, frequência) do sinal de entrada; ocorre assim, a demodulação.

Na FI sem desvios de frequência:

Quando não houver desvios de frequência, a tensão de acionamento do "comutador 1" e a tensão de acionamento do "comutador 2" estarão defasadas de 90° entre si. O período de carga do capacitor de saída corresponderá a $1/4$ da onda.

A figura abaixo representa essa condição, onde temos de cima para baixo: a tensão direta (acionando o comutador 1), a tensão defasada de 90° (acionando o comutador 2) e o período de carga do capacitor de saída.

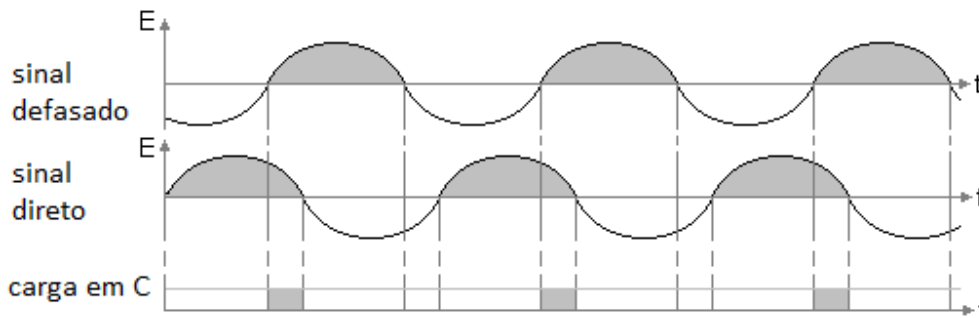


Note que a carga do capacitor de saída depende do acionamento simultâneo dos dois comutadores. Como os comutadores normalmente são transistores, só teremos tensão de carga na saída quando os dois sinais de entrada estiverem simultaneamente nos semiciclos positivos (presumindo-se transistores NPN).

Durante os desvios de frequência o defasador, por ser um circuito LC, não mantém a defasagem de 90° , provocando uma defasagem maior (desvios negativos) ou menor (desvios positivos) do que os 90° "sem desvios".

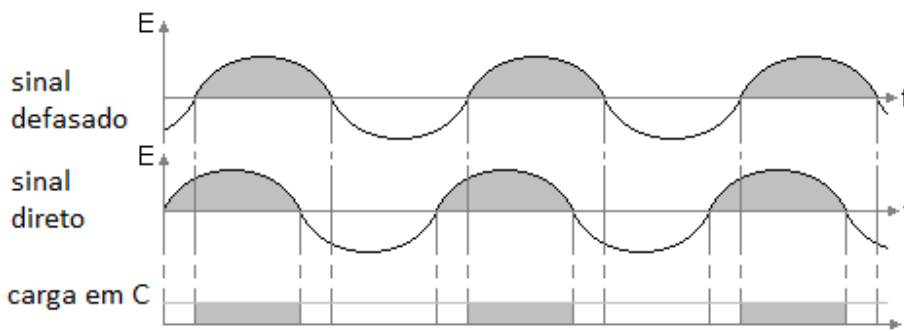
Nos desvios negativos de frequência:

Quando a frequência se desvia para menos (desvios negativos), o defasador provoca uma defasagem maior que 90° no sinal de acionamento do comutador 2. Dessa forma, o período de carga do capacitor de saída tende a diminuir, como mostra a figura.



Nos desvios positivos de frequência:

Nos desvios positivos, a tensão de acionamento do comutador 2 estará a menos de 90° da tensão de acionamento do comutador 1. Dessa forma o capacitor de saída estará recebendo carga durante um período superior a $1/4$ da onda, resultando em um nível de tensão maior.

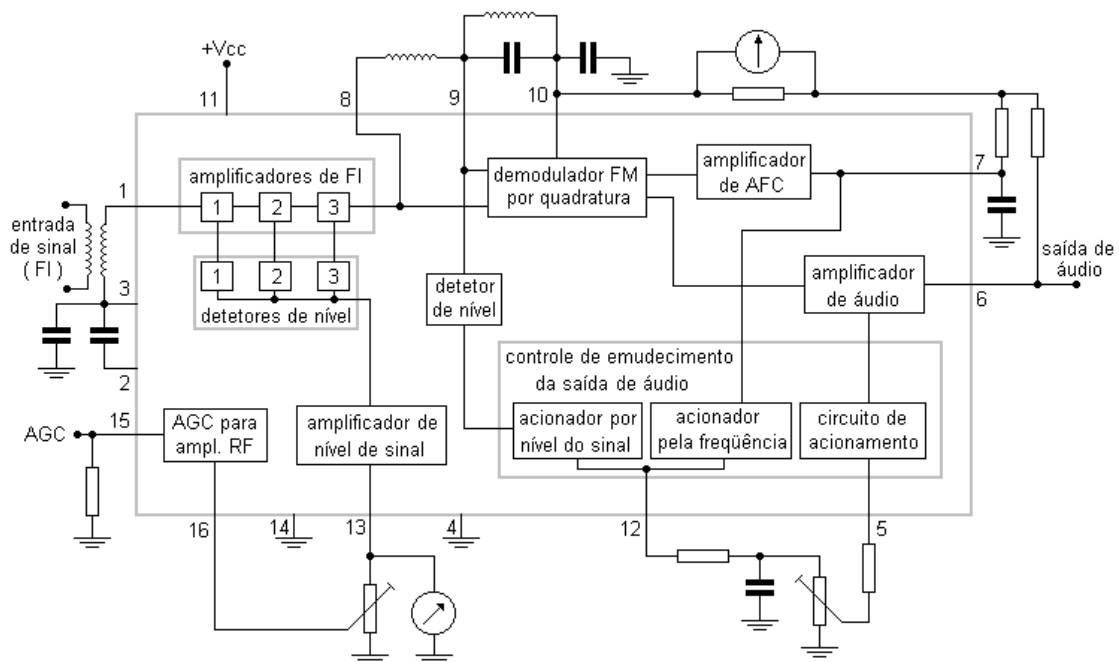


FI e Demodulação com Circuito Integrado

Face a busca pela miniaturização e simplificação no projeto de receptores, surgiram CI's dedicados a amplificação e demodulação do sinal FI/FM, que diante da quantidade e do desenvolvimento dos processos de produção, acabaram por se tornar mais viáveis tecnicamente e economicamente que a execução de projetos com componentes discretos.

CI's como o 3189 (de prefixo LM ou CA) e o TBA 120 foram largamente utilizados em receptores de qualidade e, embora obsoletos, são bastante didáticos. Estes CI's possuem os estágios amplificadores de FI, saída para indicador de intensidade de sinal, circuito AFC, demodulador de quadratura e pré amplificador de áudio.

Como exemplo, vejamos a atuação em blocos do LM3189 (da National Semiconductor) em um circuito de aplicação típica:



O estágio de amplificação de FI é composto por três amplificadores que elevam o nível do sinal até poder excitar o demodulador. De cada amplificador de FI é retirada uma amostragem do sinal que, amplificado, pode excitar um medidor de intensidade de sinal captado (tuning meter) e servir de referência para uma linha de AGC que é enviado para o amplificador de RF (do bloco de sintonia). Esta referência pode ainda, comandar o acionamento de um demodulador para recepção de FM em estéreo.

O sinal amplificado no estágio de FI é aplicado a um demodulador de quadratura. O demodulador fornece uma tensão de referência que pode controlar o emudecimento da saída de áudio, caso o sinal captado seja fraco ou esteja fora de sintonia. O demodulador fornece também uma tensão de AFC que será positiva ou negativa, de acordo com o desvio em relação a emissora captada; esta tensão AFC, que deve ser nula para uma recepção na frequência correta, é amplificada e está disponível no pino 7 para atuar no bloco de sintonia ou indicar o ponto central de sintonia em um circuito com tal mostrador.

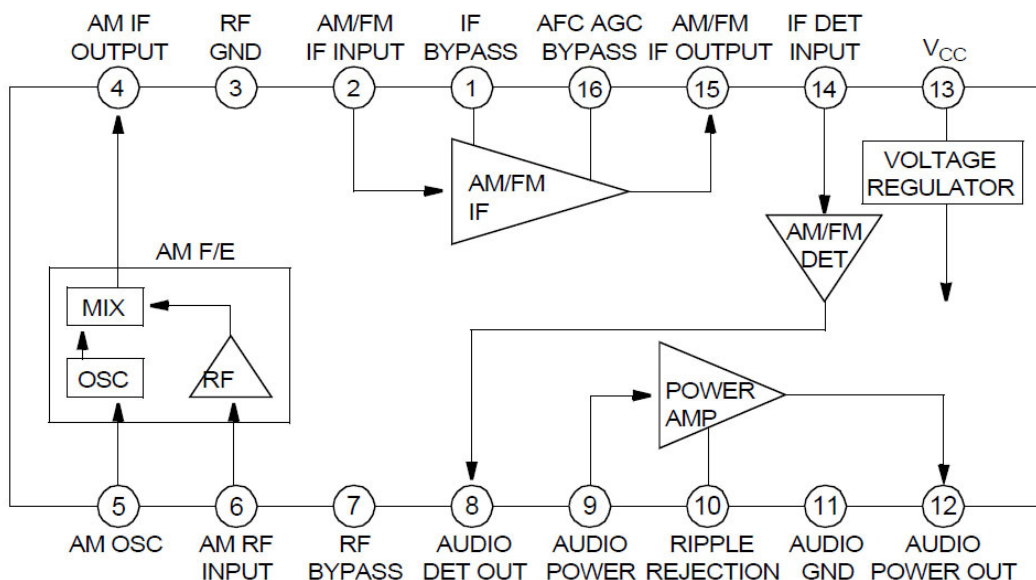
O sinal de áudio extraído do demodulador é amplificado por um pré amplificador interno que faz também o controle de "mute" (emudecimento) do sinal de saída.

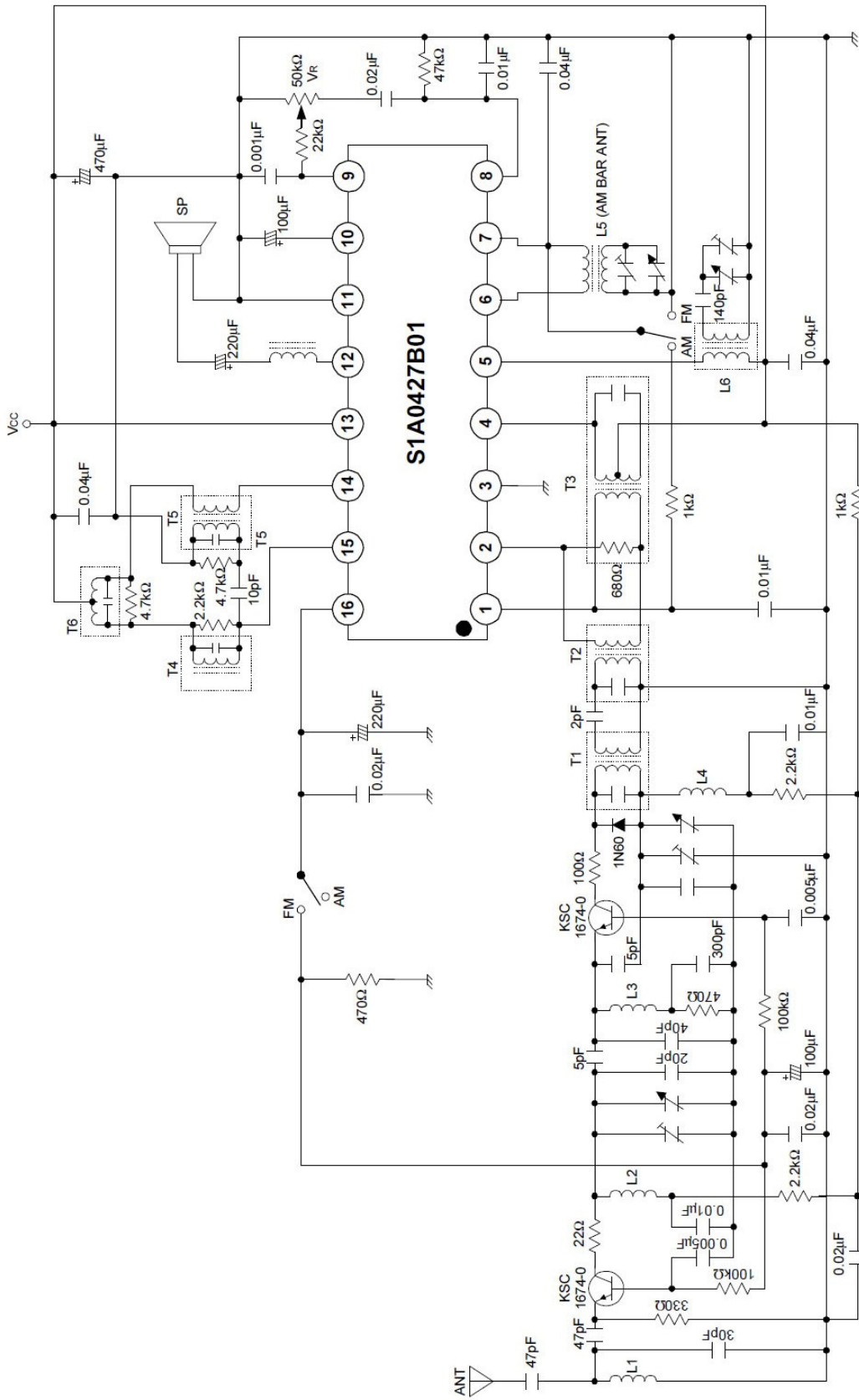
Numa breve descrição da pinagem deste CI, temos:

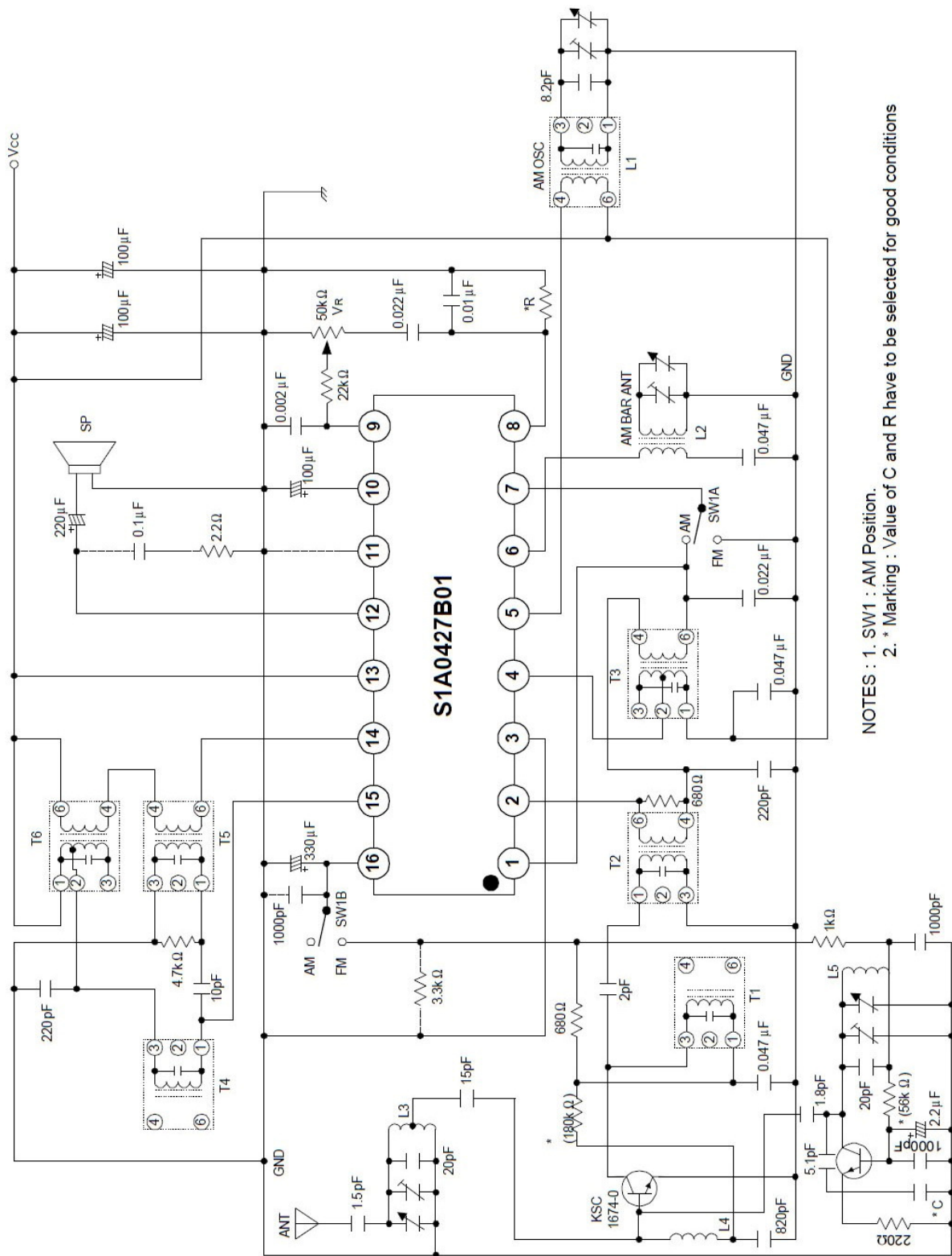
- **pino 1** - entrada de sinal (FI modulado em FM);
- **pino 2** - realimentação do estágio amplificador;
- **pino 3** - entrada diferencial do estágio amplificador;
- **pino 4** - terra dos amplificadores de RF (FI);
- **pino 5** - entrada de sinal "mute" (ajustável externamente);
- **pino 6** - saída de áudio;
- **pino 7** - saída para AFC;
- **pino 8** - acesso ao sinal de saída dos amplificadores de RF;
- **pino 9** - entrada de quadratura do demodulador;
- **pino 10**- saída de "bias" para a bobina de quadratura;
- **pino 11**- entrada de alimentação (para o regulador interno);
- **pino 12**- saída de referência de "mute", para ajuste externo;
- **pino 13**- saída para "tuning meter" e/ou referência de AGC;
- **pino 14**- terra (substrato);
- **pino 15**- saída de AGC para o amplificador de RF;
- **pino 16**- entrada de referência de AGC (com ajuste externo).

O CI **LM 3189** surgiu como um desenvolvimento do **LM 3089**, onde a diferença entre os CI's reside em uma implementação interna de emudecimento do áudio (mute logic) controlado pelo AFC e da possibilidade de ajustar o nível de AGC para o amplificador de RF de sintonia, ambos inerentes ao LM 3189. Fora o pino 16 que é NC (não conctado) no LM 3089, os demais garantem a compatibilidade plena entre os dois CI's.

O CI S1A0427B01 (Samsung) foi desenvolvido para aplicações em receptores de rádio AM/FM portáteis, com tensão de alimentação entre 3V e 12V.

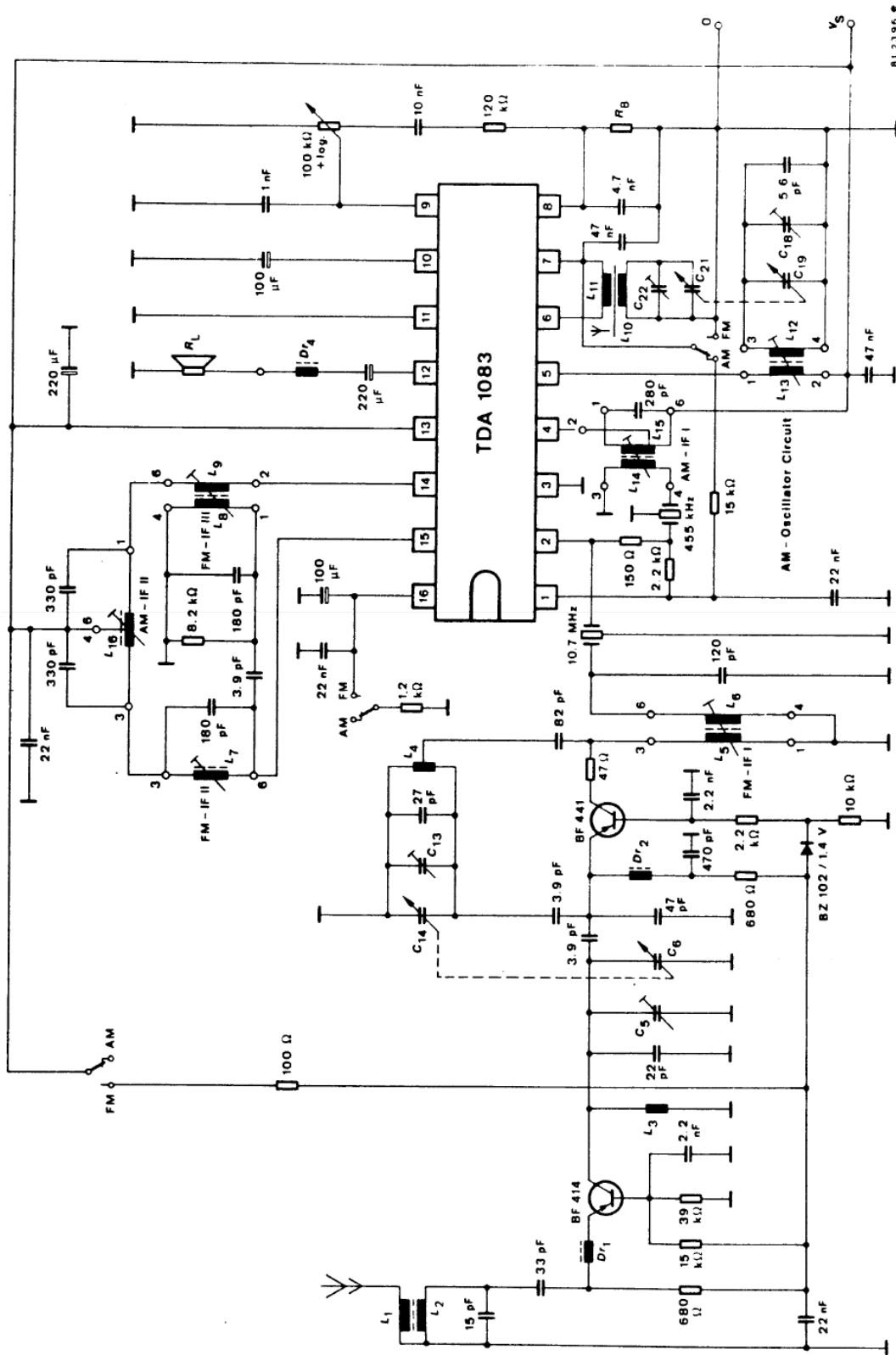






NOTES : 1. SW1 : AM Position.
 2. * Marking : Value of C and R have to be selected for good conditions

A figura seguinte é uma representação extraída do datasheet do TDA 1083 (produzido pela Telefunken).



Estereofonia

Os primeiros registros de sons consistiam na captação da informação por um microfone e gravação desse sinal elétrico. Uma vez que era usado um único microfone, o sinal resultante trazia consigo todas as características do som original. Dessa forma, na reprodução, se fazia necessário o uso de um único amplificador e um único transdutor eletro-acústico (altofalante). A esse sistema foi dado o nome de **monofonia** (ou som monoaural, ou ainda simplesmente "**mono**"), devido ao fato de que os sons provêm de um único "ponto" ou "canal" de som.

O aperfeiçoamento eletrônico e acústico progressivo encaminhou no sentido de buscar os sons da mesma forma como foram gravados, procurando (por exemplo) recriar a disposição dos diversos elementos de uma orquestra, em busca da sensação espacial do som original. A forma mais imediata para esse tipo de registro seria a captação do som por diversos microfones (dispostos convenientemente) e a gravação destes sinais em diversos "canais" separados; eram necessários tantos canais de gravação quantos eram os microfones. Na reprodução deveria haver tantos amplificadores e transdutores quantos eram os canais de som.

Visando uma padronização e um compromisso entre o número de canais e o custo total do equipamento, surgiram os sistemas comerciais de quatro canais (**quadrifonia**) e dois canais (**estereofonia**). O sistema estereofônico (em dois canais) conseguiu uma maior difusão em relação ao quadrafônico, sendo o mais utilizado atualmente (em equipamentos comerciais). Numa rápida descrição, podemos dizer que o sistema quadrafônico considera que o ouvinte se situa no centro da origem do som, tendo a sua volta distribuído os quatro transdutores (dois a frente e dois atrás).

O sistema estereofônico (ou simplesmente **estéreo**) parte do princípio que, uma vez que temos apenas dois ouvidos, dois transdutores já são suficiente para recriar a imagem original do som. Nestas condições o ouvinte é considerado como "assistindo" a origem do som, tendo a sua frente as duas fontes sonoras (altofalantes), identificadas como sendo **L** (left - canal esquerdo) e **R** (right - canal direito). Dada a coexistência de sistemas "mono" e "estéreo" no comércio, estes devem guardar o máximo de compatibilidade entre si, por exemplo: um toca fitas mono deve ser capaz de reproduzir ("tocar") uma fita estéreo assim como o toca fitas estéreo deve ser capaz de reproduzir uma fita gravada em mono; um toca discos deve ser capaz de reproduzir o áudio gravado em um disco, seja ele estéreo ou mono.

Estereofonia em Radiodifusão FM:

A compatibilidade fez-se necessária também para a transmissão em FM, ou seja, os receptores "FM-mono" devem ser capazes de receber os sinais das emissões estéreo, assim como os receptores estéreo devem ser capazes de reproduzir o sinal das emissões mono.

Para isso, na faixa de até 15KHz são transmitidos os sinais de áudio monofônico, ou seja, a soma dos dois canais (L+R). Assim, os receptores monofônicos recebem este sinal normalmente, sem perda de informações.

No entanto os receptores de “FM-estéreo” necessitam de informações adicionais que possibilitem a identificação e decodificação do sinal estéreo. A informação que se faz necessária é a transmissão de um sinal que carrega a informação de diferença entre os canais de áudio (L-R). Dado que o sinal de áudio tem uma banda passante de 15KHz, o sinal diferença também necessitará de uma faixa de 15KHz para cada banda passante.

- O **sinal soma (L+R)** modula a portadora em FM de forma convencional.
- O **sinal diferença (L-R)** modula uma subportadora de 38KHz em AM-DSB/SC; a modulação é em AM com portadora suprimida para evitar interferências entre as informações.

Um sinal piloto de 19KHz é transmitido para ativar os circuitos de decodificação estéreo e restaurar a portadora AM (do sinal L-R) no receptor, facilitando a demodulação. Na prática a amplitude desse sinal é tal que provoque um desvio de 7.5KHz na portadora, ou seja 10% do máximo permitido.

No receptor os sinais soma e diferença (L+R e L-R) são captados, demodulados e é restaurada a imagem estéreo através de circuitos somadores.

$$(L+R) + (L-R) = 2L$$

$$(L+R) - (L-R) = 2R$$

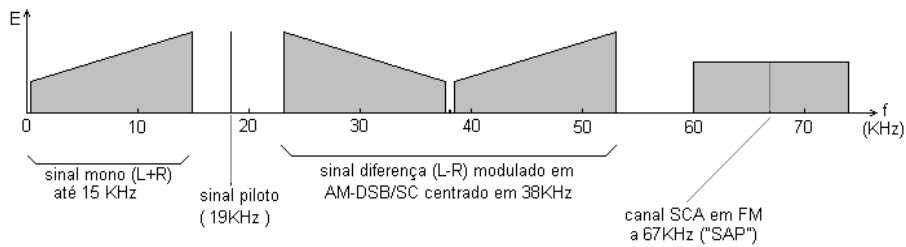
Além disso, dada largura de faixa de 75KHz reservados para a radiodifusão em FM, algumas emissoras fazem uso do canal **SCA** (Secondary Communications Authorization).

O SCA destina-se principalmente a transmissões de interesse de alguns segmentos limitados do público que peçam sua inscrição (música ambiente, previsões de tempo localizadas, economia, vôos em aeroportos, etc.).

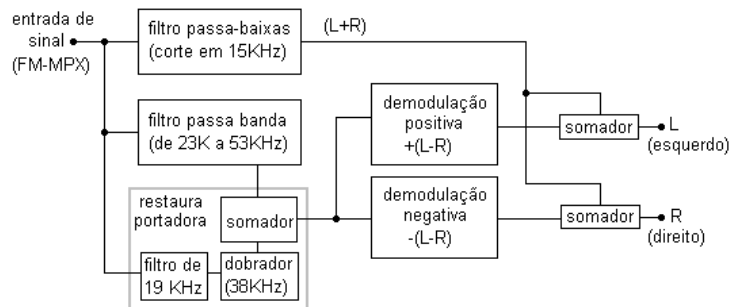
O sinal SCA é modulado em FM na frequência central de 67KHz com uma banda passante de 14KHz, ocupando a faixa de 60KHz a 74KHz (± 7 KHz).

No receptor comum esse sinal não é aproveitado, sendo eliminado nos diversos filtros de FI. No receptor de TV (que utiliza FM em seu áudio) o SCA é utilizado para transmitir programas com opção de áudio original (função "SAP").

A figura seguinte apresenta o espectro de um sinal pronto para modular uma portadora em frequência (espectro padrão para transmissão em FM).



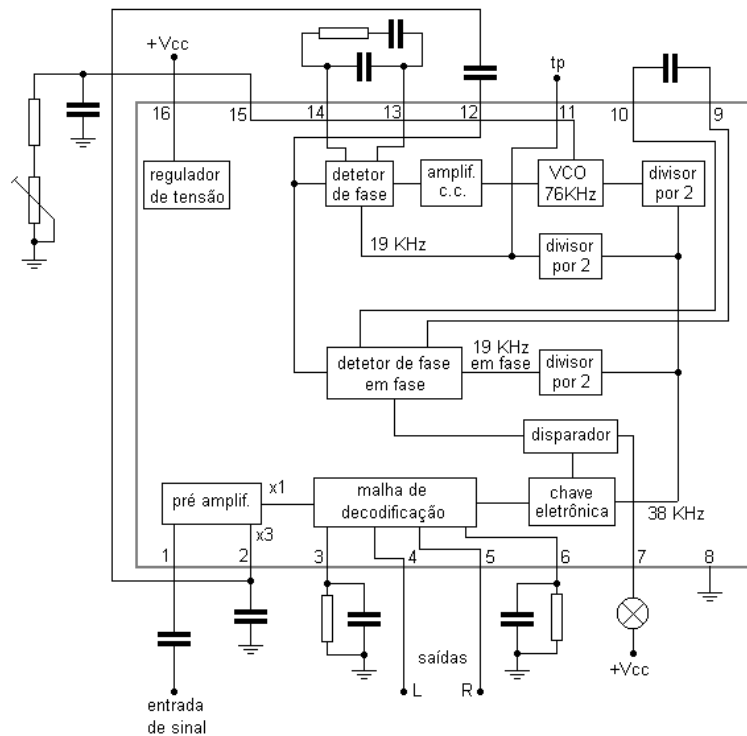
O diagrama de blocos representado na figura ao lado representa um modelo básico de restauração dos sinais esquerdo (L) e direito (R) a partir do sinal FM multiplexado (FM-MPX).



Demodulador Estéreo com Circuito Integrado:

Desenvolvidos especificamente para este fim (demodulação estereofônica) vários CI's proporcionaram a miniaturização dos receptores estéreo com um custo relativamente reduzido. Entre estes CI's os mais utilizados foram o **LM 1800** (e o seu derivado **LM 1310**), dado seu baixo custo e alta eficiência. Apesar de obsoletos, é interessante conhecê-los, pois são bastante didáticos.

O sinal composto de entrada é aplicado ao amplificador que age como "buffer" de ganho unitário (X1) para a seção decodificadora. Um segundo sinal amplificado (X3) é acoplado capacitivamente a dois detectores de fase, um no elo fechado por fase (detector de fase) e outro no circuito de comutação estéreo (detector de fase em fase).



Na malha fechada por fase a saída de 76KHz do VCO (oscilador controlado por tensão) é dividida duas vezes (para 38KHz e para 19KHz) e é injetado no detector de fase que ajusta o VCO em precisamente 76KHz.

A saída de 38KHz (do primeiro divisor de frequência) torna-se a subportadora regenerada do sinal diferença (L-R) na seção decodificadora.

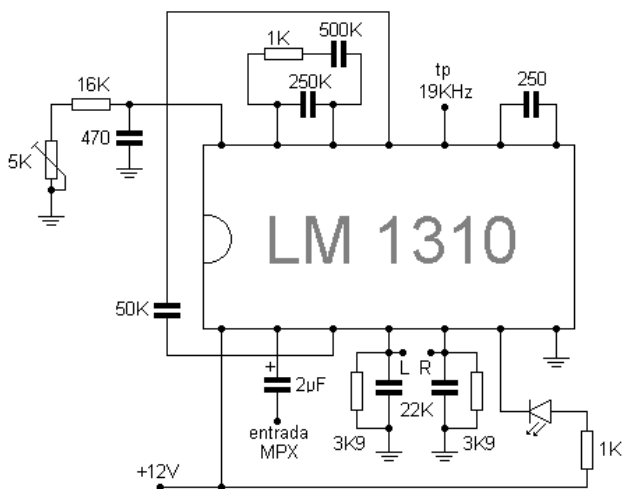
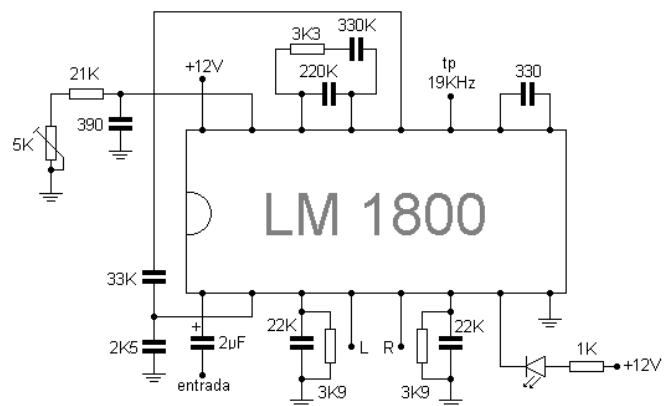
O sinal que chega da emissora e um sinal de 19KHz "em fase" são comparados no "detector de fase em fase". Como resultado dessa comparação, temos uma tensão CC de saída proporcional a amplitude do sinal piloto (19KHz) da emissora. Esta tensão CC é aplicada a um disparador que comanda a chave eletrônica controlando a passagem ou não da subportadora de 38KHz para o decodificador.

No modo monofônico (chave eletrônica aberta), a saída do decodificador duplica o sinal composto de entrada, exceto aquilo que os capacitores de deênfase (pinos 3 e 6) atenuarem.

No modo estereofônico (chave eletrônica fechada), o decodificador demodula a informação L-R, combina-a com L+R e depois envia os sinais L e R separados aos pinos de saída, 4 e 5 respectivamente.

Ao lado temos o circuito de aplicação típica, sugerido pelo fabricante, para o LM 1800, onde os resistores são dados em ohm e os capacitores em pico-farads, salvo especificação em contrário.

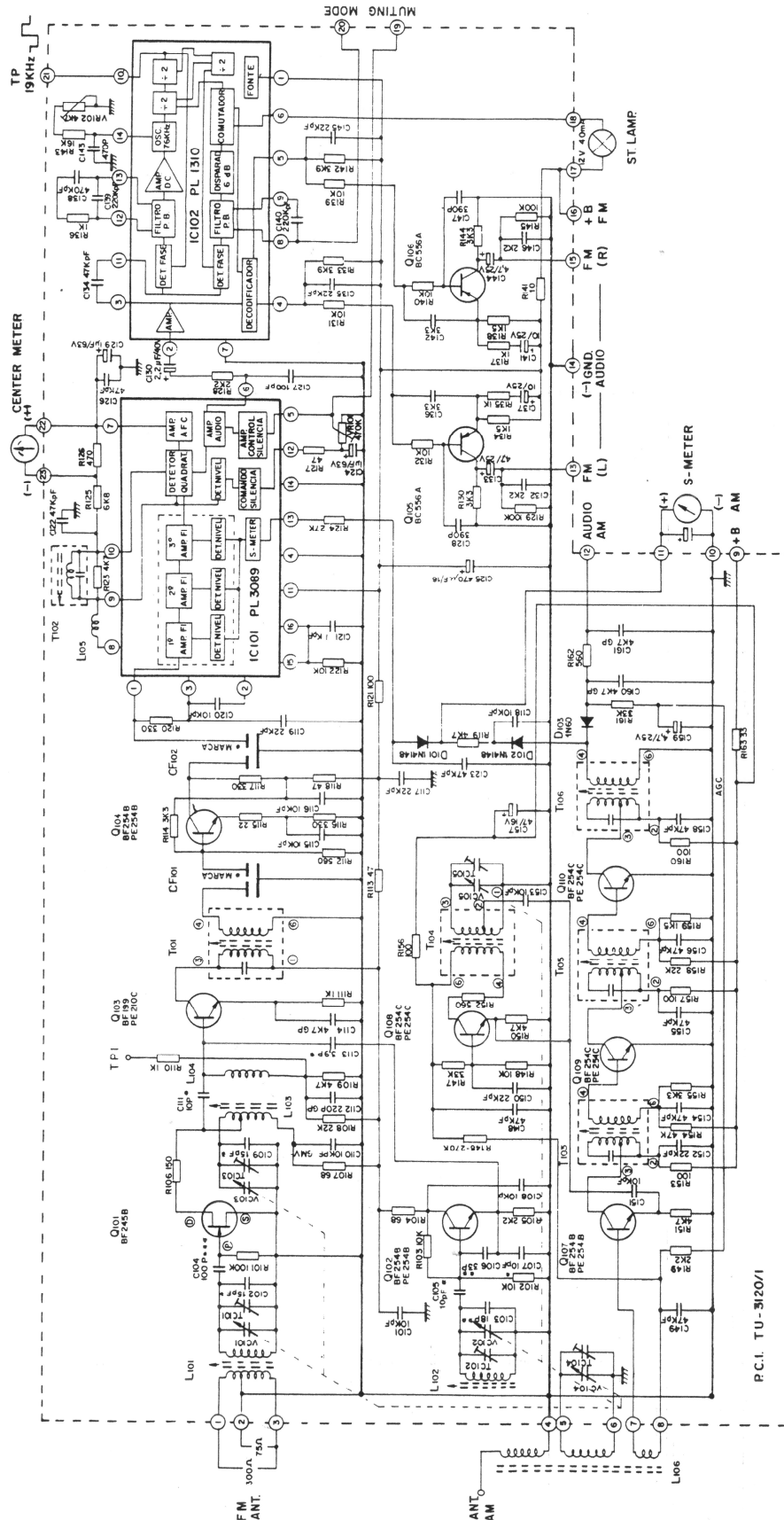
O LM 1310 representa essencialmente uma versão simplificada do demodulador LM 1800 (uma versão de 14 pinos), sendo diferenciado apenas pelo estágio interno de saída que no LM 1310 é dada pelos próprios pinos de deênfase (pinos 4 e 5).



À esquerda temos representado o circuito de aplicação típica sugerido pelo fabricante para o LM 1310.

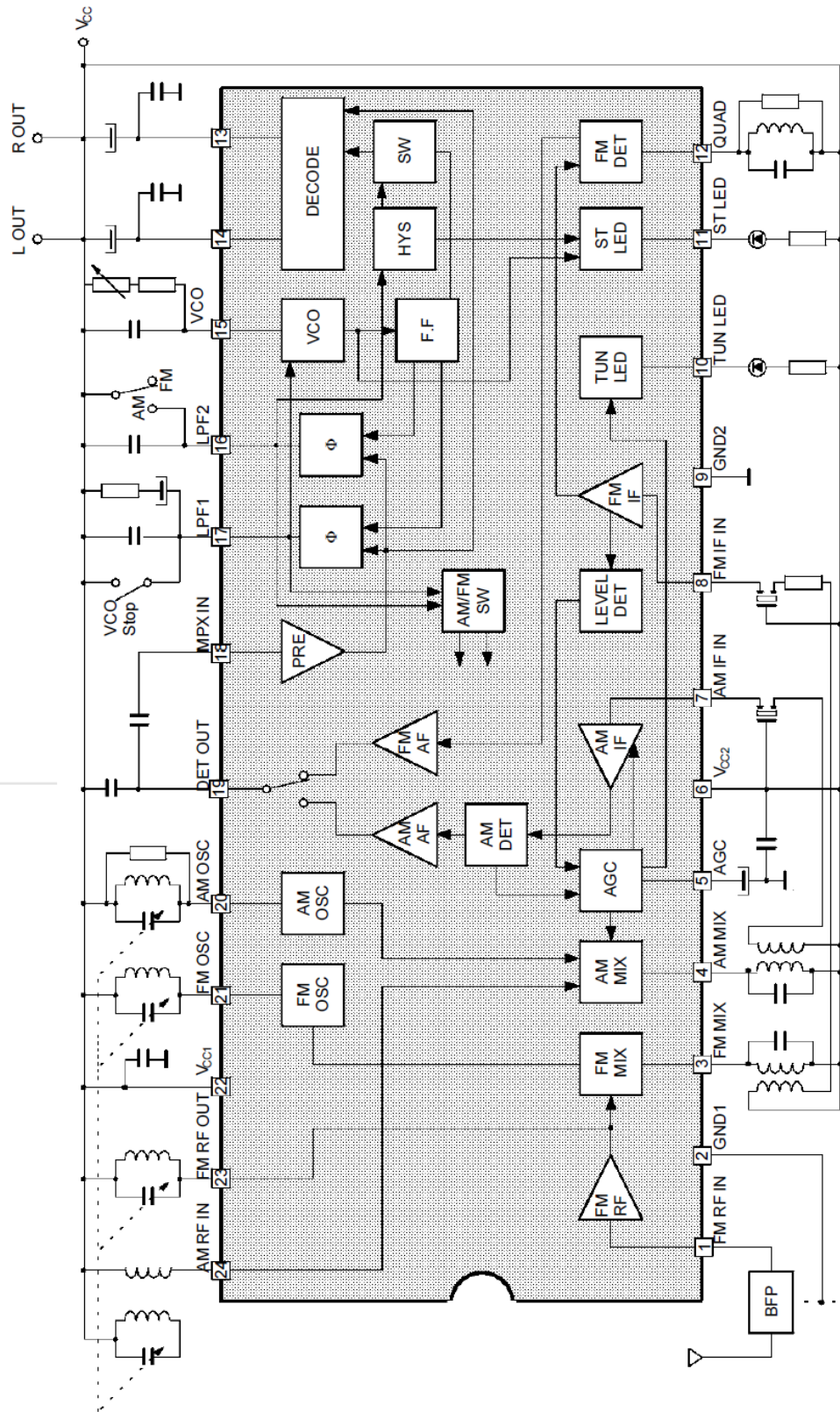
- Obs: No circuito, os resistores são dados em ohm e os capacitores em pico-farad, salvo especificação em contrário.

A circuito seguinte é o circuito de um receptor comercial AM/FM estéreo que era produzido pela CCE.



Princípios da Radiodifusão Comercial em AM e FM - Wilson Carvalho de Araújo

O circuito seguinte é o de aplicação típica do TDA2222, extraído de seu datasheet.



Avaliação da Qualidade de Receptores de Rádio:

A qualidade de um receptor de rádio é dada em função da sua fidelidade em reproduzir o sinal original com a menor alteração possível. Essa fidelidade é medida em termos de sinais elétricos padronizados (em condições específicas), que são avaliados com a ajuda de equipamentos eletrônicos. Infelizmente não existe um padrão universal para se medir características; cada país adota um padrão, se bem que certos padrões se tornaram reconhecidos mundialmente, como é o caso das normas alemãs DIN e das americanas IHF.

Vejamos então as características mais comuns para avaliar um receptor de rádio:

Sensibilidade:

- É dada em relação ao mínimo sinal captado necessário para fornecer uma saída isenta de ruídos. Esta intensidade poderá ser medida para um nível 30dB acima do nível de ruído (sensibilidade utilizável) ou para 50dB de relação sinal/ruído (sensibilidade para 50dB de silenciamento).

Seletividade:

- Representa a capacidade de um receptor em receber tão somente a emissora sintonizada e rejeitar as demais (expresso em dB).

Relação de captura:

- Em um receptor FM é a menor relação entre dois sinais de portadoras iguais, que permita ao mais intenso atenuar em 30dB o sinal mais fraco.

Distorção harmônica total:

- Representa, em porcentagem (%), a deformação do sinal original introduzida pelo receptor.

Diafonia:

- Representa, em um equipamento estéreo, a capacidade em manter a imagem estéreo, ou seja, representa a interferência que um canal de som provoca no outro. É expresso em dB.

Supressão de AM:

- Um receptor de FM deve ignorar as variações de amplitude que a portadora possa ter. Essas variações são interferência de natureza variada e, portanto, quanto mais rejeitadas forem, melhor a relação sinal/ruído do receptor.

Bibliografia

Revistas Elektor Eletrônica:

nº: 9/10/11/13, abr/mai/jun/jul/ago 1987.

Revistas Nova Eletrônica:

nº: 8/1977, 74/1983, 78/1983, 83/1984, 103/1985.

Revistas Electron:

nº: 21/1988, pág. 2 a 12, pag. 62 a 70.

National; Audio Handbook.

Curso de Eletrônica (Basic Electronics); Hemus.

V.V.Shajguldian:

Transmissores de Rádio; Ed. MIR, Moscou, 1983.

Texas Instruments Incorporated:

Disenos de Circuitos para Audio AM/FM y TV; 1969.

Paul B. Zbar:

Praticas de Radio y Radio Reparacion; Ed. Marcombo
Barcelona, 1972.

Arnaldo Megrich:

Televisão vol.1; Ed. Erica, São Paulo, 1990.

Maurício Caruso Reis:

Rádio - Teoria e consertos; Letron.

J.P.F. Sobrinho & J.A.D. Carvalho:

Osciladores; Ed. Erica, São Paulo, 1992.

Gradiente Esquemas Técnicos Vol. III.

Eltec Editora de Livros Técnicos Ltda.

Philips Diagramas Esquemáticos de Audio Vol. III.

Eltec Editora de Livros Técnicos Ltda.

CCE Esquema Elétricos Vol. II.

Eltec Editora de Livros Técnicos Ltda.