

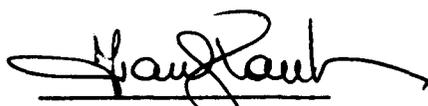
INPE-404-RI/157

PROJETO: RASA I

TÍTULO: RECEPÇÃO DE SINAIS DE SATÉLITES

AUTOR: C.J. Zamlutti

PUBLICADO EM: Novembro de 1973

  
Gerente do Projeto

  
Coordenador

## RECEPÇÃO DE SINAIS DE SATÉLITES

*C.J. Zamlutti*

*Instituto de Pesquisas Espaciais*

### SUMÁRIO

*Este trabalho apresenta uma estação de telemetria como um conjunto de blocos, cada um dos quais exerce uma função específica no tratamento dado ao sinal recebido de um satélite.*

*Como a maioria dos blocos aqui descritos já é conhecida dos engenheiros eletrônicos procurou dar-se maior ênfase àqueles que apresentavam características mais voltadas aos propósitos em pauta.*

*A sequência de apresentação foi a do caminho seguido pela onda eletromagnética desde sua aquisição na antena até o armazenamento da informação nela contida. Assim o trabalho foi dividido em duas partes: tratamento do sinal e armazenamento das informações.*

## INDICE

### I. ESTAÇÕES DE RECEPÇÃO DE SINAIS DE SATÉLITES

I.1 - Introdução.....	1
I.2 - Esquema de Blocos de uma Estação Receptora.....	1
I.3 - Antena.....	1
I.4 - Prê-Amplificador.....	3
I.5 - Conversor de Polarização.....	3
I.6 - Multiacoplador.....	5
I.7 - Receptor.....	5
I.8 - Combinador.....	8
I.9 - Misturador.....	9
I.10 - Base de Tempo e Sinais de Controle.....	10
I.11 - Gravador de Fita Magnética.....	10

### II. ARMAZENAMENTO DOS SINAIS RECEBIDOS

II.1 - Introdução.....	11
II.2 - Gravadores de Fita Magnética.....	11
II.3 - Princípio de Gravação.....	12
II.4 - Princípio de Leitura.....	15
II.5 - Característica Geral - Gravação Leitura.....	16
II.6 - Métodos de Gravação - Reprodução.....	18
a) Método de Gravação e Leitura Direta.....	19
b) Método de Gravação e Leitura FM.....	22
c) Método de Gravação PCM.....	24
II.7 - Compensações de Variação de Velocidade e Vibração.....	24

## I. ESTAÇÕES DE RECEPÇÃO DE SINAIS DE SATÉLITES

### I.1 - Introdução

Uma estação de recepção de sinais de satélites deve possuir basicamente uma antena móvel para recepção dos sinais e um receptor para decodificação dos mesmos. A esses dispositivos adicionam-se outros cuja finalidade será vista no decorrer da descrição de uma estação de rastreamento que segue.

### I.2 - Esquema de Blocos de uma Estação Receptora

O esquema de Blocos (ver Figura I.2.1) aqui apresentado é aproximadamente o mesmo da estação receptora instalada pela CNES (Centre National d'Études Spatiales) em Fortaleza como resultado de um acordo de pesquisa conjunta com o INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais).

### I.3 - Antena

É o transdutor onda eletromagnética - tensão. A antena para recepção de sinais dos satélites não é fixa, deve possuir dois movimentos que permitam apontá-la para a posição em que está o satélite: o horizontal e o vertical. Algumas antenas permitem também o movimento simultâneo nos dois sentidos. A velocidade angular deve ser bem superior.

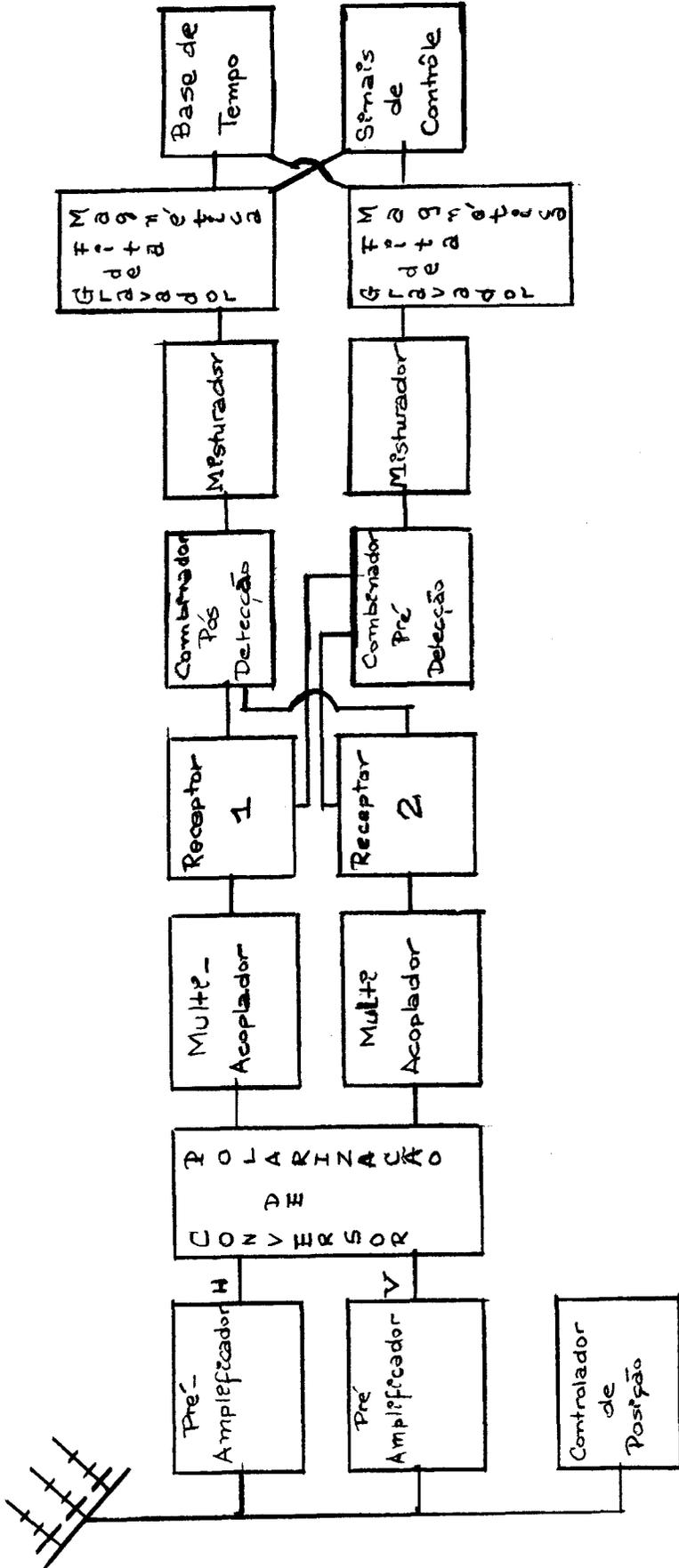


Figura I-2-1

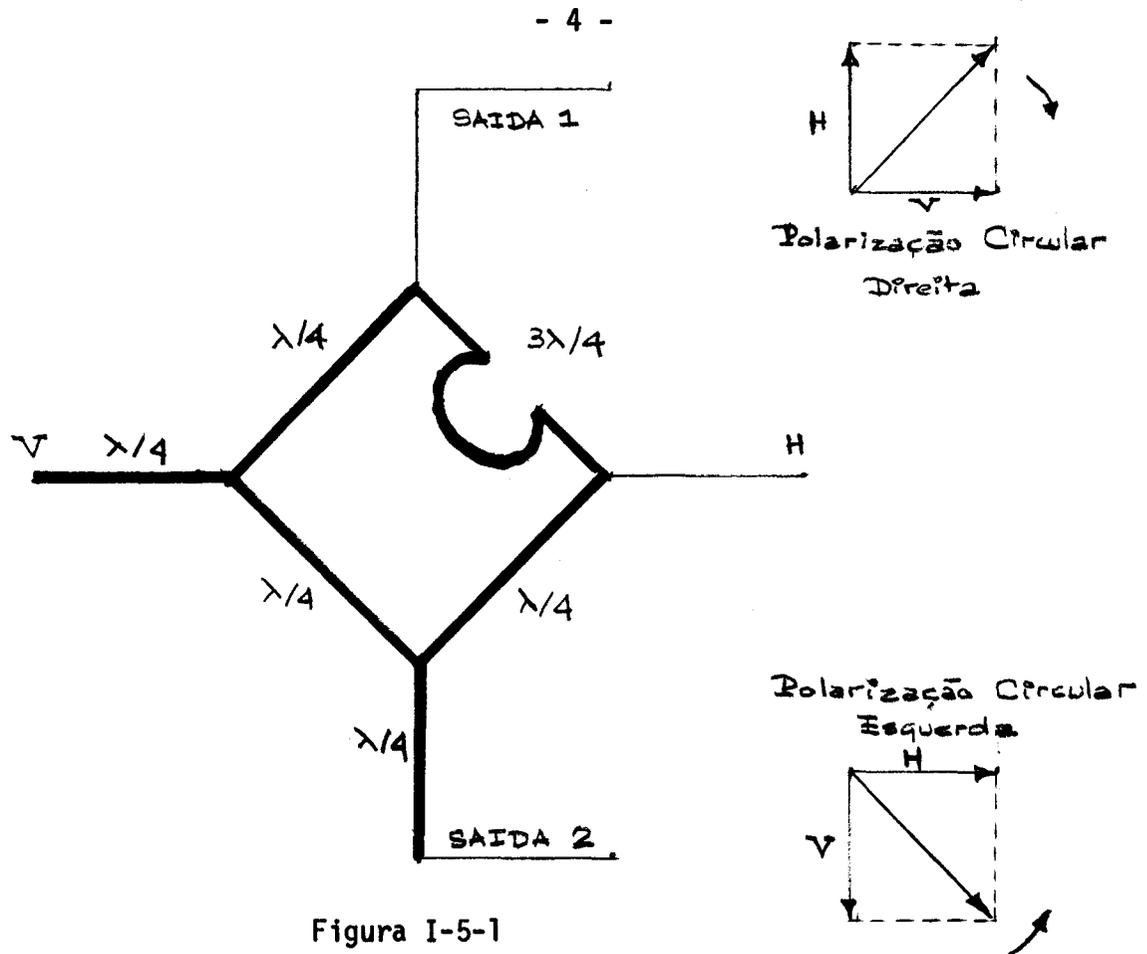
rior à maior velocidade angular dos satélites que deverão ser rastreados, para que a posição da antena possa ser corrigida por aproximações sucessivas. Neste posicionamento tem grande influência o ângulo de abertura da antena, pois quanto mais diretiva ela for mais difícil será o seu uso por parte do manipulador (no caso de rastreamento manual).

#### I.4 - Pré-Amplificador

O sinal recebido na antena é relativamente fraco e durante o seu transporte até o receptor que fica geralmente distante, sofre atenuação nos cabos condutores. Faz-se por isso uma amplificação do sinal logo após a sua recepção na antena antes de enviá-lo através de cabos para o local de detecção. O dispositivo que permite isso é chamado de pré-amplificador e deve possuir baixo fator de ruído para melhor qualidade do sinal enviado ao receptor.

#### I.5 - Conversor de Polarização

Normalmente o conjunto de antenas permite a recepção separada das componentes vertical e horizontal do sinal recebido. O conversor de polarização tem a finalidade de fazer a soma vetorial dos dois sinais, transformando-os dessa forma em sinais circularmente polarizados. O esquema é mostrado na Figura I.5.1.



Convém observar que até a entrada do conversor de polarização a diferença de fase relativa existente na entrada do sinal (antena) deve ser mantida fazendo-se os sinais de polarização horizontal e vertical percorrerem caminhos rigorosamente iguais.

Pode-se ver claramente que o sinal H na saída 1 está a trasado de  $\pi/2$  com relação ao sinal V. Na saída 2 é o sinal V que está atrasado de  $\pi/2$  com relação ao sinal H.

Com isso consegue-se que os sinais das saídas 1-2 tenham o mesmo valor em módulo, mas polarizados inversamente um com relação ao

outro.

### I.6 - Multiacoplador

O multiacoplador é um dispositivo destinado a permitir que vários receptores possam ser colocados em sua saída sem que a sua impedância de entrada varie e afete o estágio anterior. Consta de dois blocos distintos conforme mostrado na Figura I.6.1.

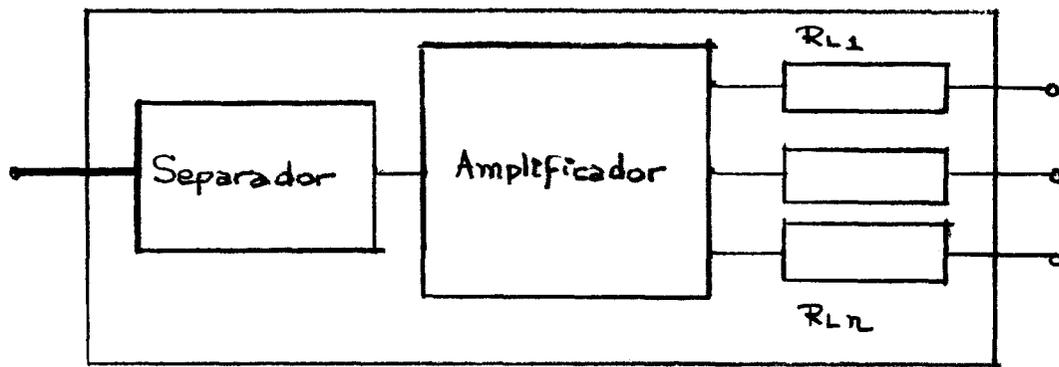


Figura I-6-1

O segundo estágio funciona com um divisor de corrente e o primeiro estágio como casador de impedância.

### I.7 - Receptor

O receptor é um dispositivo que recebe a portadora modu

lada VHF e entrega ao estágio seguinte o sinal modulador. Consta geralmente de três estágios: estágio de VHF; estágio das frequência intermediárias; estágio de demodulação.

A. ESTÁGIO DE VHF

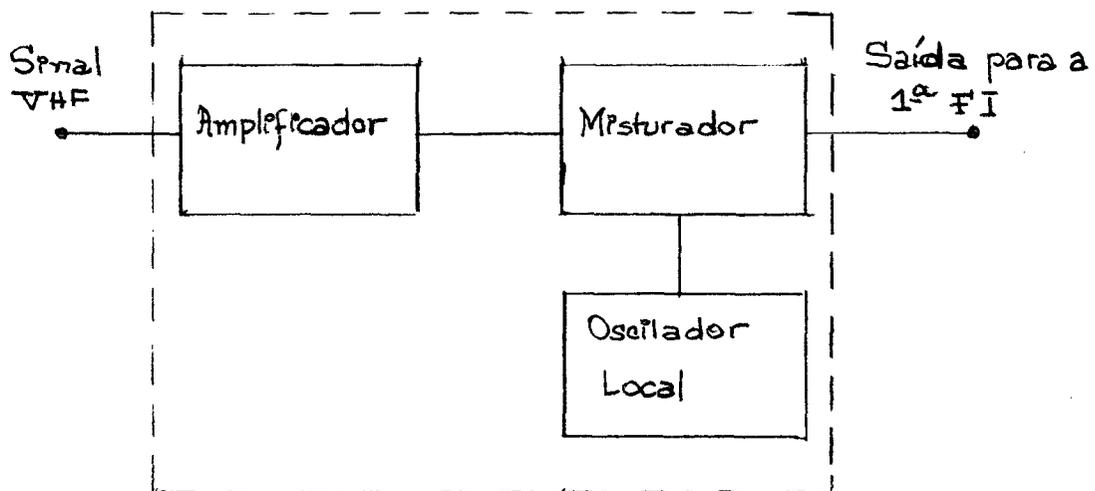


Figura I-7-1

O estágio de VHF é esquematizado na Figura I.7.1. O sinal VHF (136 MHz-138 MHz) recebido é amplificado e em seguida faz-se a mistura de frequências com um oscilador local para obter-se por diferença a primeira frequência intermediária (30 MHz).

O oscilador local pode em geral ser escolhido entre três alternativas:

- i. Oscilador a cristal de quartzo em frequência fixa;
- ii. Oscilador com frequência variável interna;
- iii. Oscilador com frequência variável colocado externamente.

B. ESTÁGIO DE FI

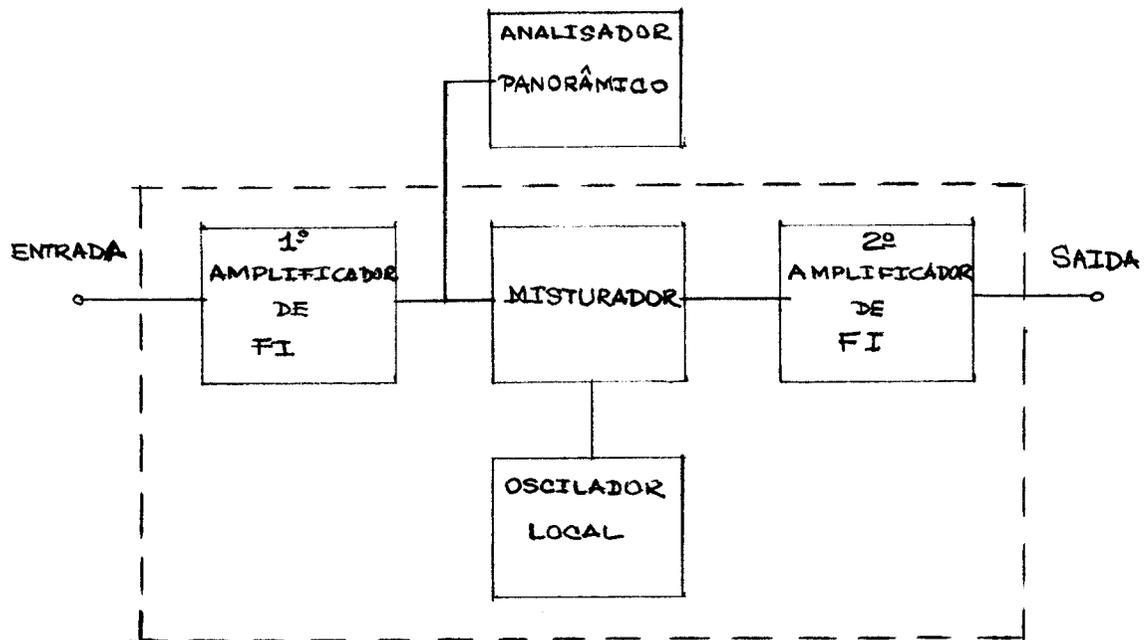


Figura I-7-2

A Figura I.7.2 esquematiza o estágio de FI. Como no estágio de RF o oscilador local pode ser a cristal, VFO interno ou ainda com controle automático de frequência. Da saída do 1º FI tiramos o sinal para o analisador panorâmico. Existe uma entrada no estágio de FI para sinais provenientes de gravadores de fita em gravação pré detecção.

### C. ESTÁGIO DE DOMODULAÇÃO

Da saída do estágio de FI o sinal é enviado para o estágio final que faz a demodulação.

Também do estágio de FI sai um sinal para a gravação pré-deteccção e para o BFO (oscilador de batimento).

O estágio de demodulação depende do sinal a ser demodulado podendo ser AM, FM, PM ou PCM.

#### I.8 - Combinador

O combinador é o dispositivo que escolhe o melhor entre dois sinais de acordo com uma tensão de controle, proveniente de cada um dos receptores. A tensão de controle vem do AGC do receptor e o sinal pode vir do estágio de FI (no caso do combinador pré-deteccção) ou do estágio de demodulação (no caso de combinador pós-deteccção). Um esquema é mostrado na Figura I.8.1.

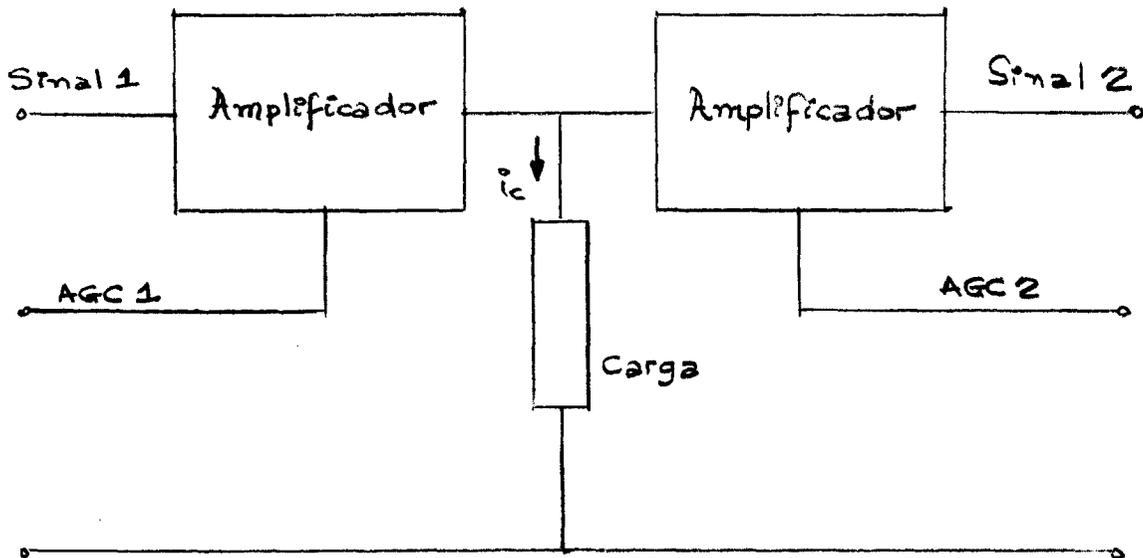


Figura I-8-1

O controle é feito da seguinte forma: quando uma das tensões de AGC é maior que a outra o amplificador controlado por esse AGC deve fornecer a maior quantidade da corrente  $i_c$ . Quando a diferença entre as tensões de controle for muito grande o amplificador controlado pela menor tensão estará cortado para que o sinal por ele fornecido não venha piorar a relação sinal/ruído da saída combinada.

### I.9 - Misturador

A finalidade do misturador é adicionar uma frequência fixa ao sinal que será gravado. Essa frequência fixa será usada como referência para compensações na reprodução do sinal gravado.

I.10 - Base de Tempo e Sinais de Controle

Estes dois tipos de sinais são gravados, conjuntamente com os sinais recebidos, como auxiliares para calibrações dos sinais enviados pelo satélite. São em geral guardados sob forma de sinais codificados (base de tempo) ou em sub portadoras IRIG (sinais de controle).

I.11 - Gravador de Fita Magnética

Destina-se a registrar as informações recebidas para que as mesmas possam ser usadas para posterior reprodução.

## II. ARMAZENAMENTO DOS SINAIS RECEBIDOS

### II.1 - Introdução

Existem várias formas de se guardar o sinal recebido para posterior utilização. Dependendo do tipo de sinal ele poderá ser de codificado e guardado por meio de execuções de fotografias, gravações em papel ou gravação em fita magnética. Será aqui dada maior ênfase ao processo de gravações em fita magnética devido à sua grande utilização e versatilidade.

### II.2 - Gravadores de Fita Magnética

Os gravadores de fita magnética utilizam o processo de conversão de sinal elétrico em campo magnético e armazenamento da indução resultante em fitas magnéticas. Para a reprodução é feito o processo inverso ou seja transformação da indução magnética em sinal elétrico.

Como todo equipamento irá introduzir modificações no sinal tenta-se então minimizar essa influência uma vez que o equipamento trabalha com os sinais já decodificados (na maioria dos casos) e qualquer alteração irá refletir-se diretamente no resultado obtido das medidas feitas pelo satélite. Assim um gravador para finalidades científicas é um equipamento de alta precisão e é conveniente conhecer-se o seu processo de funcionamento em detalhe.

### II.3 - Princípio de Gravação

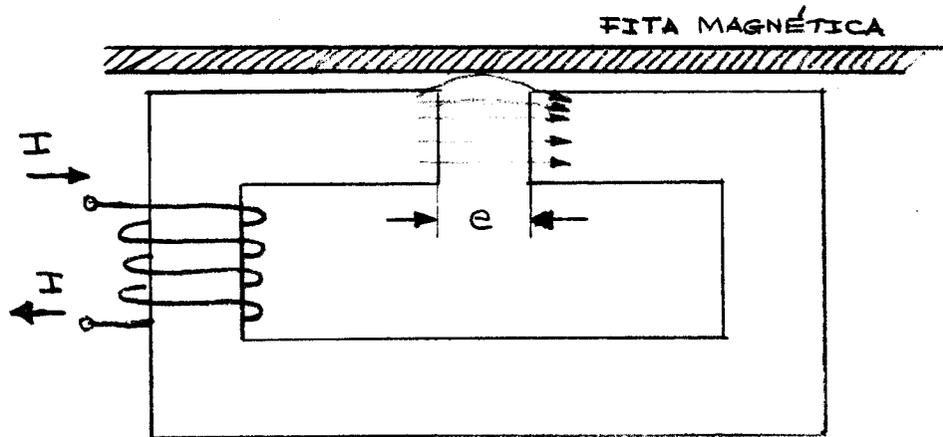


Figura II-3-1

Considere-se uma fita de material magnético próximo ao "gap" do anel de ferro.

O campo magnético  $H$  será proporcional à corrente que passa na bobina:

$$H = \alpha I \quad (\text{II.3.1})$$

O campo magnético relaciona-se com a indução magnética permanente pela equação:

$$B_r = \mu H \quad (\text{II.3.2})$$

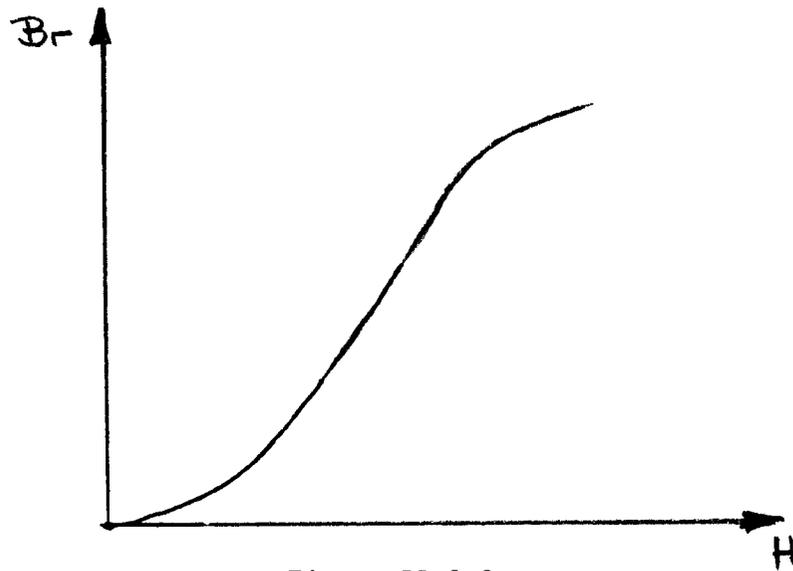


Figura II-3-2

Como resultado final de (II.3.1) e (II.3.2) a indução na fita magnética será:

$$B_r = KI$$

Quando a fita atravessa o entreferro com uma velocidade  $v$  a indução resultante para cada ponto será o valor médio no intervalo de tempo de passagem pelo "gap". Assim

$$B_r = \frac{K}{T} \int_t^{t+T} I dt$$

$$\text{Onde } T = \frac{e}{v} .$$

Sendo a corrente  $I = I_0 \cos wt$  a indução em cada ponto

valerã:

$$B_r = \frac{KIo}{T} \int_t^{t+T} \cos wt \cdot dt$$

$$B_r = \frac{KIo}{Tw} \left[ \text{sen } w(t+T) - \text{sen } wt \right] \quad (\text{II.3.3})$$

$$B_r = \frac{KIo}{Tw} \left[ \text{sen } wt \cos wT + \cos wt \text{sen } wT - \text{sen } wt \right]$$

Para  $wT$  muito pequeno teremos a aproximação:

$$B_r = \frac{KIo}{wT} \left[ \text{sen } wt + wT \cos wt - \text{sen } wt \right]$$

$$\boxed{B_r = KIo \cos wt} \quad (\text{II.3.4})$$

Onde  $t$  é o instante em que o ponto passa pelo meio do entreferro (para melhor aproximação).

Assim a indução  $B$  é proporcional (para baixo  $wT$ ) à corrente instantânea que atravessa a "cabeça de gravação".

II.4 - Princípio de Leitura

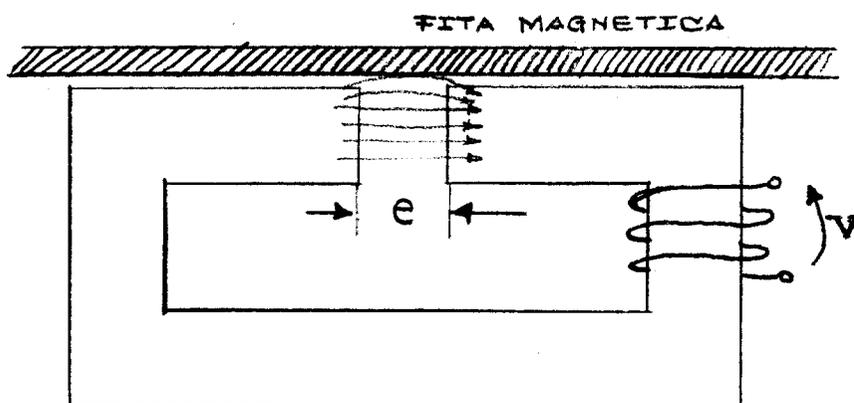


Figura II-4-1

Considera-se uma fita magnética imantada colocada no entreferro como mostrado na Figura II.4.1. Vai aparecer na bobina uma tensão V dada por:

$$V = K' \frac{dB_r}{dt} \quad (\text{II.4.1})$$

Onde  $B_r$  é a indução magnética na região considerada. Com a fita parada não aparece variação em  $B_r$  e  $V = 0$ . Colocando-se a fita em movimento com uma velocidade v (igual à de gravação) o fluxo  $B_r$  no entreferro vai variar (com a variação do ponto da fita considerado) de acordo com a expressão II.3.4. Assim:

$$B_r = K I_0 \cos \omega t$$

onde  $t$  depende do ponto e a tensão  $V$  dependerá assim da variação dos pontos no gap sendo dada por:

$$V = K' \frac{d}{dt} K I_o \cos wt$$

$$V = - K'' w I_o \sin wt$$

A tensão apresenta assim um comportamento linear (para baixa frequências) com a variação de frequência.

## II.5 - Característica Geral - Gravação Leitura

Vamos agora levantar a restrição de que  $wt$  seja muito pequeno e examinar o comportamento do sistema gravação - leitura.

Consideremos o valor da indução dado por I.3.3:

$$B_r = \frac{K I_o}{T w} \left[ \sin w (t+T) - \sin wt \right]$$

Usando a expressão II.4.1 teremos:

$$V = \frac{K' I_o}{T w} \frac{d}{dt} \left[ \sin w (t+T) - \sin wt \right]$$

$$V = \frac{K' I_0}{T \omega} \left[ \omega \cos \omega(t+T) - \omega \cos \omega t \right]$$

$$V = \frac{K' I_0}{T} \left[ -2 \sin \frac{1}{2}(\omega t + \omega T + \omega t) \sin \frac{1}{2}(\omega t + \omega T - \omega t) \right]$$

Finalmente:

$$V = \frac{K'' I_0}{T} \cdot \sin \frac{1}{2} \omega T \cdot \sin(\omega t + \frac{1}{2} \omega T) \quad (II.5.1)$$

Observando II.5.1 vemos que:

1. A amplitude do sinal de saída (tensão) é diretamente proporcional à amplitude do sinal de entrada (corrente).
2. A amplitude do sinal de saída é inversamente proporcional ao tempo de passagem pelo "gap": T ou seja diretamente proporcional à velocidade da fita (v) e inversamente proporcional a espessura do "gap".
3. A banda passante tem o formato de uma senoide:  $\sin \frac{1}{2} \omega T$ .
4. Existe uma defasagem dependente da frequência que vale com relação ao sinal de entrada  $\phi = \frac{1}{2} (\omega t - \pi)$ .

Colocando em um gráfico logarítmico teremos o aspecto mostrado na Figura II.5.1.

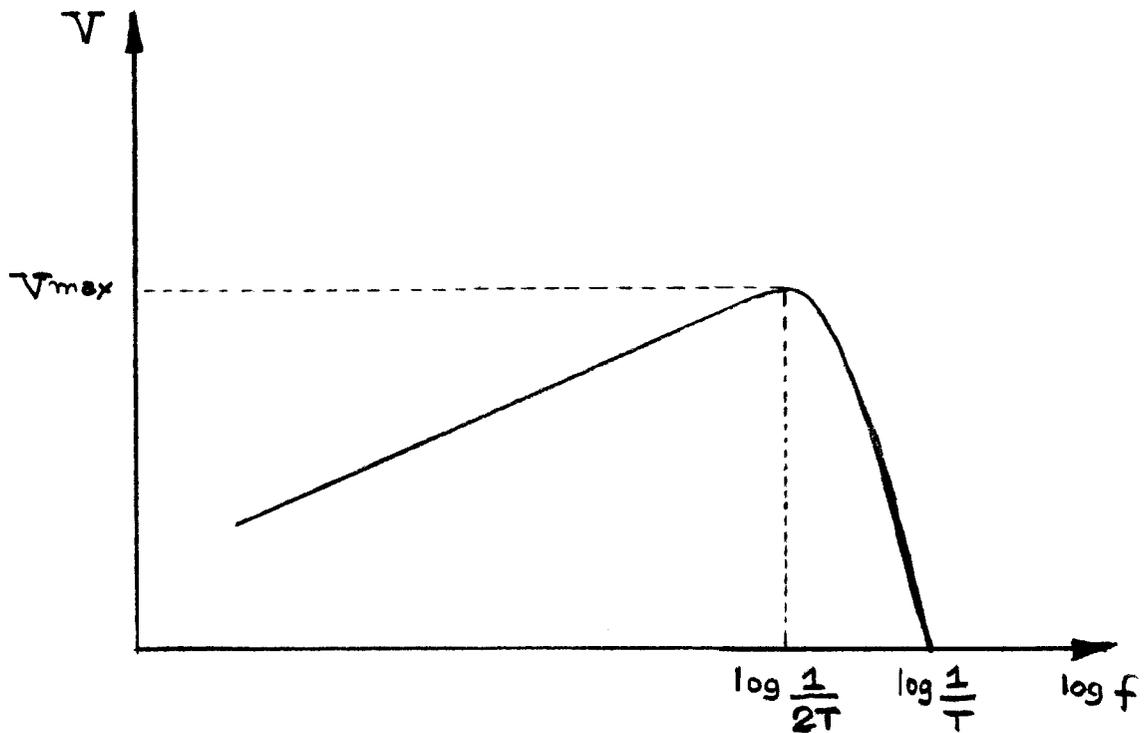


Figura II-5-1

A teoria acima exposta dá uma primeira aproximação ao problema gravação-leitura. Uma análise mais detalhada é bem mais complexa envolvendo o comportamento magnético dos materiais das cabeças de gravação e leitura que fogem aos escopos deste trabalho.

## II.6 - Métodos de Gravação - Reprodução

Existem três métodos para gravar e reproduzir um sinal em fita magnética.

1. Método de Gravação e Leitura direta ou AM.

- b. Região média, mais linear e apresentando a maior relação  $B_r/H$ .
- c. Região final, característica de alta corrente e saturação do ferro com relação  $B_r/H$  baixa.

A distorção é introduzida pela não linearidade da curva de magnetização. Consegue-se evitar que a distorção seja excessivamente grande trabalhando na região b. Para isso é necessário evitar que o sinal atinja as regiões a e c. A região c pode ser evitada limitando-se a amplitude do sinal e a região a usando-se o processo chamado de polarização que consiste em adicionar-se ao sinal a ser gravado um outro sinal de frequência muito mais alta que a frequência de corte do conjunto gravação leitura. O processo é esquematizado na Figura II.6.2. Cumpre observar que o sinal de alta frequência ao passar pela cabeça de gravação é eliminado.

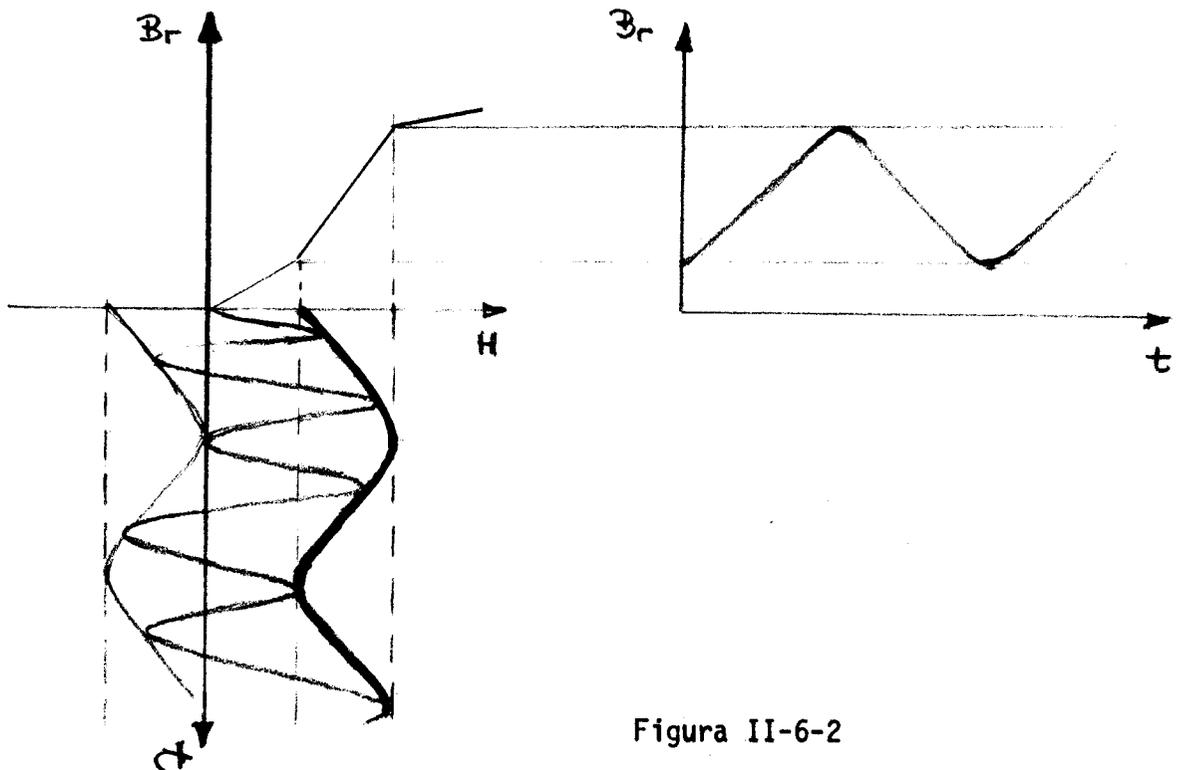


Figura II-6-2

Com isso consegue-se que a distorção seja limitada apenas naquela introduzida pela região b.

## 2. LEITURA

Após a leitura temos o sinal gravado alterado pela curva de resposta em frequência do gravador. Para compensar-se essa alteração usam-se os amplificadores equalizadores com uma curva de resposta simétrica à curva do gravador com relação à reta do ganho 1. Ver Figura II.

6.3.

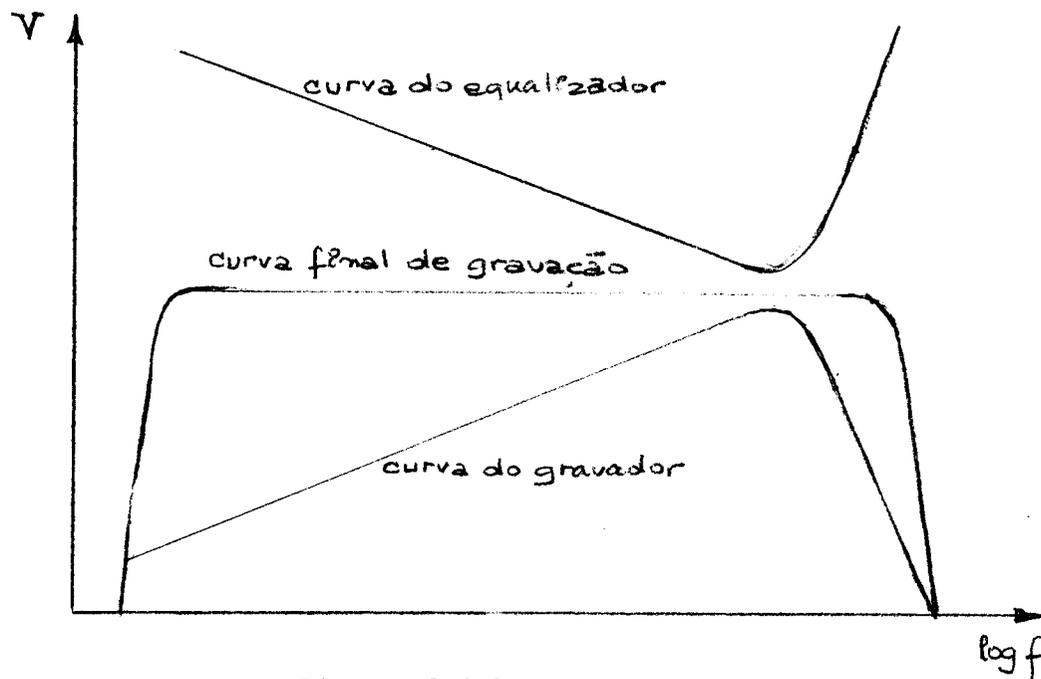


Figura II-6-3

O processo de gravação leitura direta ou processo AM é esquematizado pelo diagrama de blocos abaixo (Figura II.6.4).

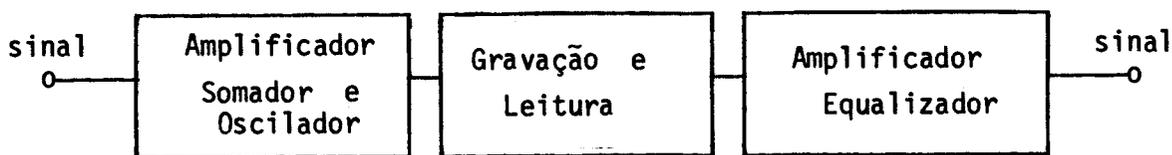


Figura II-6-4

II.6.b - Método de Gravação e Leitura FM

Conforme foi visto na Figura II.6.3 seria necessário um equalizador de ganho infinito em  $f = 0$  para podermos gravar os sinais de corrente contínua. Tal não é exequível e por isso torna-se necessário nesses casos um outro processo de gravação. Assim, usa-se a gravação do sinal modulando em frequência uma portadora; é o processo conhecido como gravação e leitura FM. Sua esquematização é mostrada na Figura II.6.5.

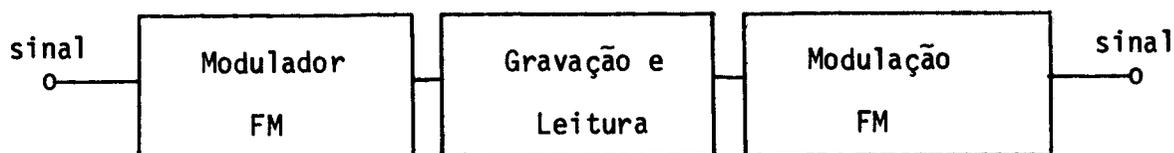


Figura II-6-5

Este processo possui a vantagem de permitir a gravação de sinais contínuos e de baixa frequência, mas possui o inconveniente

de limitar muito a máxima frequência do sinal possível de gravação.

banda passante e 300 Hz - 300 KHz e em gravação FM com a mesma velocidade de a banda de 0 Hz a 20 KHz. Isso se deve à necessidade de gravar-se as raias espectrais mais influentes do espectro de frequência do sinal modulado em FM dentro da banda passante AM. A Figura II.6.6 mostra o que acima foi dito.

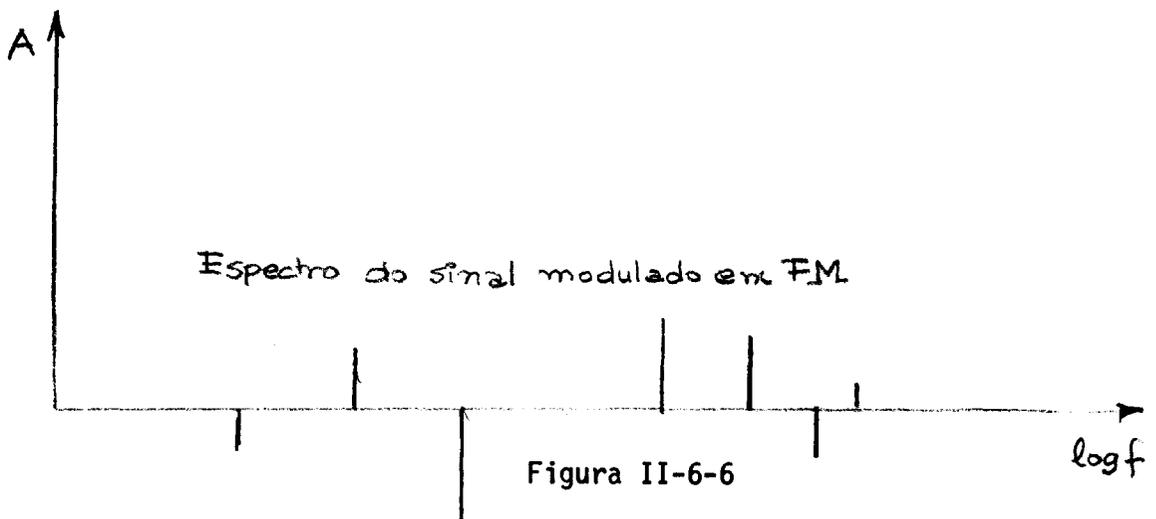
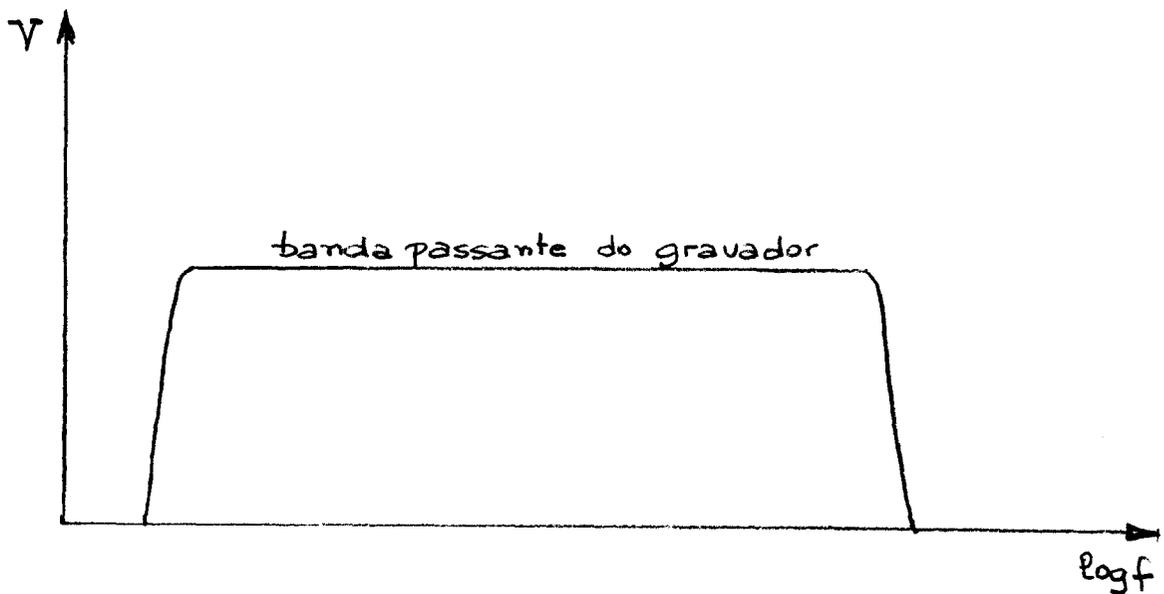


Figura II-6-6

### II.6.c - Método de Gravação PCM

Quando os sinais a serem gravados variam lentamente com o tempo pode-se usar a técnica de pulsos e aproveitar melhor o equipamento multiplexando-se vários sinais e gravando-os. O processo de modulação de pulsos mais empregado é o PDM (pulse duration modulation).

### II.7 - Compensações de Variação de Velocidade e Vibração

Variações de velocidade na gravação ou na leitura podem afetar o sinal gravado. Em aparelhos de alta precisão a velocidade do motor é controlada por meio de um cristal para que a velocidade de passagem pelas cabeças de gravação e leitura seja a mesma em toda a fita gravada. Entretanto sempre existirão pequenas variações de velocidade e uma pequena vibração que alterarão as características do sinal que se deseja gravar e reproduzir com fidelidade.

Para compensação desses efeitos é usual gravar-se um sinal de frequência fixa, bastante precisa, juntamente com o sinal de formação desejado.

Variações de velocidade no processo gravação-leitura irão acarretar também variações na frequência fixa gravada. Essas variações de frequência são transformadas em variações de tensão por meio de um discriminador com frequência central igual à do sinal auxiliar grava

do e assim  $\bar{\epsilon}$  conhecido o desvio em amplitude provocado por esse desvio de frequência. Sendo portanto possível a correção do sinal para o seu valor real.