

MANUAL DO ALUNO

DISCIPLINA AUDIO, VIDEO E TV

Módulos 9 e 10

República Democrática de Timor-Leste
Ministério da Educação



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE AUDIO, VIDEO E TV
Módulos 9 e 10

AUTOR

JORGE FLÁVIO

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA
XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO
XXXXXXXXXX

DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA
EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO
XXXXXX

ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM

XXXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE
2015



Índice

Amplificadores	9
Apresentação.....	10
Introdução	10
Objetivos de aprendizagem	10
Âmbito de conteúdos	11
Amplificadores – Conceitos Introdutórios	12
Introdução	12
Áudio e Classe de Amplificadores	15
O Som	18
Ondas Sonoras.....	18
Perguntas de revisão	23
Estereofonia	24
Equipamento Estéreo	24
Fontes de sinal.....	25
Amplificadores.....	28
Colunas de Som.....	33
Altifalantes.....	33
Classificação dos altifalantes	34
Características dos altifalantes	35
Caixas acústicas	35
Guias de instalação.....	37
Associação de Altifalantes	41
Teste/análise de um altifalante com um multímetro.....	42
Perguntas de revisão sobre colunas de som e estereofonia.....	44
Microfones	45
Introdução	45
Sensibilidade.....	45
Frequência de resposta	46
A característica direcional.....	47
Reparação de avarias em microfones- Parte I	49
Reparação de avarias em microfones- Parte II	51



Perguntas de revisão	53
Pesquisa de Avarias	54
Fontes de Alimentação	54
Circuito primário.....	54
Circuito secundário.....	56
Regulação da tensão.....	59
Perguntas de revisão	60
Pré-Amplificadores	61
Circuito Equalizador.....	62
Controlo dos circuitos do amplificador.....	64
Controlo de “Loudness”.....	64
Controlo de Volume.....	66
Controlo de tonalidade.....	67
Filtros.....	69
Controlo de balanço	71
Perguntas de revisão	73
Amplificadores de Potência	74
Andar de entrada.....	74
Pré-driver.....	75
Driver	77
Andar de potência complementar puro	78
Andar de potência quase-complementar	78
Fator de amortecimento.....	79
Acoplamento direto.....	80
Circuito de proteção	81
Circuito de “mute”	83
Perguntas de Revisão.....	84
Funcionamento do Amplificador	85
Distorção harmónica.....	85
Distorção IM	86
Distorção cruzada (Crossover)	88
Distorção limitadora	88
Distorção transitória	89



Potência de saída.....	90
Largura de banda da potência	91
Ondas quadradas.....	93
Perguntas de revisão	99
Resolução de Avarias	100
Identificação do problema de som	100
Problema de localização	101
Substituição de peças e teste	103
Problemas de interferência de ruído	105
Teste de audição	108
Perguntas de revisão	109
Em Resumo	110
Teste de Avaliação Final.....	111
Teste de componentes eletrônicos com um multímetro	113
Medição e análise de resistências fora do circuito com um multímetro	113
Medição e análise de resistências no circuito com um multímetro	114
Medição e análise de condensadores com um multímetro	115
Medição e análise de díodos com o multímetro	117
Medição e análise dos transístores com um multímetro	118
Análise de um JFet com um multímetro.....	119
Como testar um Circuito Integrado	120
Trabalhos Laboratoriais – Pesquisa Avarias	122
Trabalho Laboratorial n.º1 – Verificação de um Amplificador em Emissor Comum ..	122
Trabalho Laboratorial n.º2 – Localização e reparação de avarias num amplificador.	123
Trabalho Laboratorial n.º3 – Amplificador de potência em classe AB - Montagem, localização e reparação de avarias	124
Bibliografia	127
Sintonizadores.....	129
Apresentação.....	130
Introdução	130
Objetivos de aprendizagem	130
Âmbito de conteúdos	131

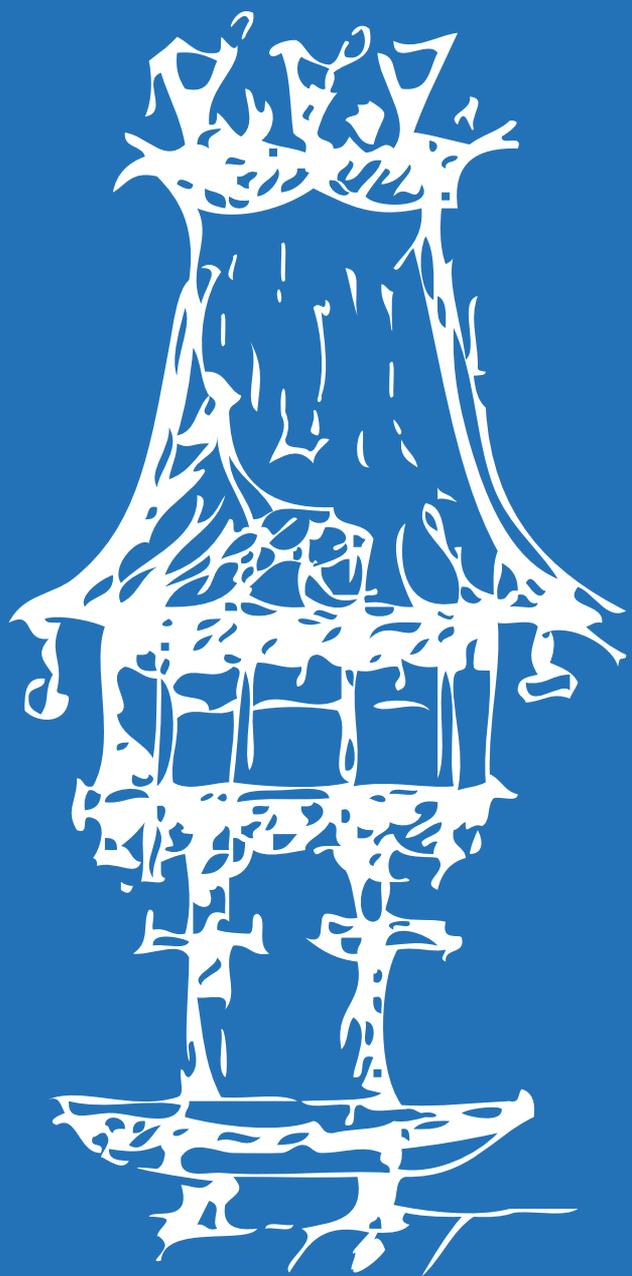


Ruído	132
Introdução	132
Teorema de Shannon.....	133
Teorema de Shannon - Exemplo	133
Teorema de Shannon - Resolução	133
Problemas relacionados com a Transmissão de Dados	134
Classificação dos Ruídos	134
Ruído Térmico.....	134
Ruído de Intermodulação	135
Ruído Impulsivo	135
Ruído - Crosstalk.....	135
Perguntas de revisão	136
Modulação	137
Introdução - Modulação	137
Modulação de amplitude	139
Amplificador modulador de RF.....	140
Modulação percentual	141
Modulação de frequência.....	142
Modulação por largura de pulso - PWM.....	144
Modulação de fase	145
Perguntas de revisão	146
Desmodulação.....	147
Desmodulação para AM	147
Desmodulação para FM.....	149
Perguntas de revisão	152
Sintonizador	153
Princípio do andar misturador.....	153
Andares misturadores	155
Receção em ondas ultracurtas - Andar misturador de OUC (Tuner).....	157
O andar preliminar de AF	160
Diagrama de blocos de um recetor de rádio estereofónico de OUC	162
Sintonizador do rádio FM	163
Perguntas de revisão	165



FI.....	166
A função do amplificador FI do andar de FM	166
Filtro de três circuitos	167
Andares de FI – Acoplamento de circuito único	168
Acoplamento com filtros passa-banda	169
Perguntas de revisão	170
Recetor super-heterodino.....	171
Recetor super-heterodino para AM.....	171
Recetor super-heterodino para FM	173
Perguntas de revisão	175
Estereofonia em AF	176
Introdução	176
Emissor estereofónico em FM	177
Recetor estereofónico em FM	177
Recetor monofónico	178
Formação do sinal da soma e do sinal da diferença	179
Sinal Multiplex	180
O modulador em anel.....	182
Modulação de amplitude sem supressão da portadora	183
Perguntas de revisão	188
Recetor de Rádio e Medições	189
Interferências por frequência-imagem.....	189
Duplo Super-Heterodino.....	191
O andar preliminar de AF	192
Perguntas de revisão	193
Teste de Avaliação Final.....	194
Teste de Autoavaliação	194
Trabalhos Laboratoriais	196
Trabalho n.º1 - Construção de um recetor simples de AM.....	196
Trabalho n.º2 - Construção de um recetor de FM	197
Bibliografia	206







Amplificadores

Módulo 9

Apresentação

Este módulo tem caráter teórico – prático devendo por isso decorrer em ambiente laboratorial de modo a que os alunos possam analisar, ensaiar e ajustar equipamentos amplificadores de áudio.

Esta disciplina tem como intenção tornar o aluno apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos desta e das outras disciplinas técnicas e também na comunicação adequada com os profissionais da área.

Introdução

A abordagem deste módulo sobre amplificadores leva-nos a uma melhor compreensão do funcionamento de vários tipos de aparelhos, que incorporam circuitos que utilizam estas características, por forma a identificar os tipos de distorções que surgem nos amplificadores e proceder à respetiva reparação dos circuitos que incorporam amplificadores.

Este módulo requer um conhecimento básico de eletrónica.

Objetivos de aprendizagem

- Descrever os processos usados para a regulação do volume e da tonalidade do som.
- Definir banda passante, dando alguns exemplos de curvas típicas.
- Identificar os tipos de distorções que surgem nos amplificadores.
- Identificar as características da estereofonia.
- Explicar o funcionamento dos pré-amplificadores e andar final BF.
- Efetuar medidas de amplitude e frequência.
- Identificar as principais características das colunas de som.
- Conhecer os principais tipos de microfones e suas aplicações.
- Conhecer os equipamentos usados para medida e teste em BF.



Âmbito de conteúdos

- O Som.
- Estereofonia
- Colunas de som.
- Microfones
- Pesquisa de avarias.



Amplificadores – Conceitos Introdutórios

Introdução

Amplificador é um equipamento que aumenta a intensidade de sinais muito fracos, como sinais de antenas, de microfones e outros. Na figura 1 é apresentado um diagrama de blocos do funcionamento de um amplificador.

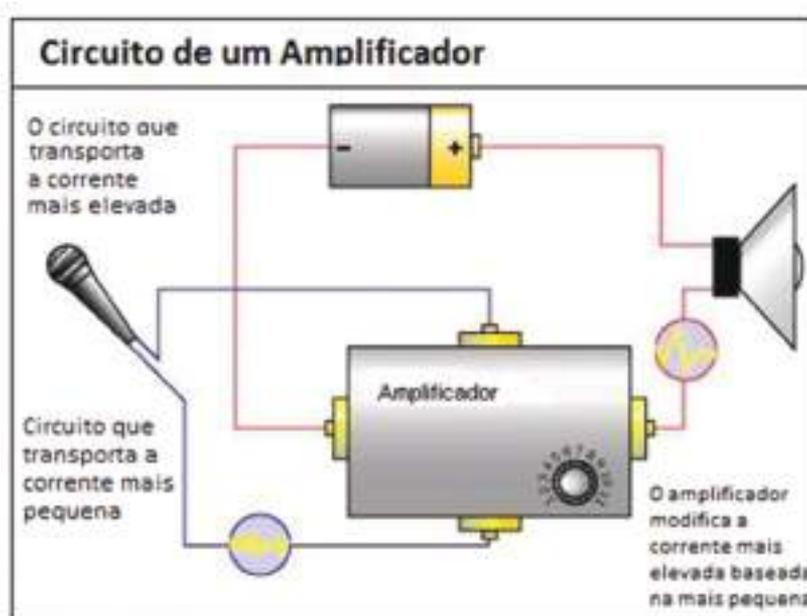


Figura 1 – Diagrama de blocos do funcionamento de um amplificador.

Amplificadores eletrónicos

O tipo de amplificador mais comum é o eletrónico, normalmente usado em transmissores e recetores de rádio e televisão, equipamentos estéreo de alta-fidelidade (*high-fidelity* ou *hi-fi*), microcomputadores e outros equipamentos eletrónicos digitais, e guitarras e outros instrumentos musicais elétricos.

Em alta fidelidade o amplificador é um dispositivo eletrónico que aumenta os valores de tensão dos sinais de áudio.

O **som (áudio)** é a propagação de uma oscilação mecânica, onde esta onda não se propaga no vácuo mas sim propaga-se em meios materiais com massa e elasticidade



(sólidos, gasosos, líquidos). A sua frequência distingue-se pela possibilidade do ser humano conseguir ouvir essa oscilação. As frequências de áudio encontram-se no espectro de frequências entre 20 Hz e 20 kHz, e a sua amplitude e energia medem-se em Decibéis.

Decibel

Como a unidade tem um valor muito grande usa-se o **decibel dB**, 1 BEL = 10 DECIBÉIS. O decibel, expresso em algoritmos naturais, recebe o nome de *neper*.

Asuautilizaçãoemsituaçõesespecíficaspodereceberumsufixo,oqueindicaumaquantidade de referência ou relação. Por exemplo: **dBm** Indica que a quantidade de referência é um 1 mili-Watt, enquanto que **dBu** é a referência para 0,775 Volt RMS e **dB μ V/m** referência microvolts por metro, utilizado para medir intensidades de sinais de radiofrequência. A relação que define esta grandeza é válida em toda a generalidade:

- $D = \log E_1 | E_2$ (D=Atenuação, E1=Energia antes, E2=Energia depois, do meio atenuante); $E_1 > E_2$
- $D = \log E_1 | E_2$ (D=Ganho, E1=Energia antes, E2=Energia depois, do meio amplificador); $E_1 < E_2$.

A relação entre potência de entrada e a potência de saída designa-se por ganho de potência.



Figura 2 – Ganho de um amplificador.

Utilizando três estágios de amplificação.

Para encontrar o ganho global, multiplicam-se os ganhos individuais.

$$10 \times 5 \times 9,2 = 460$$

O resultado da multiplicação pode apresentar números de valor elevadíssimo.



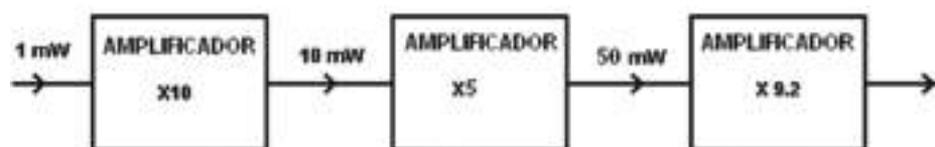


Figura 3 – Exemplo dos vários ganhos dos estágios de um amplificador.

Uma vez que a unida BEL é uma unidade com grande dimensão usa-se o Decibel.

$$10 \text{ Log}_{10} \frac{P_{\text{Saída}}}{P_{\text{Entrad.}}} \text{ dBs}$$

Uma vantagem da utilização de decibéis é a de que o seu valor é menor, mais fácil de utilizar. Um ganho global de 1000000000 ou +90 DBS.

Um ganho de 1000 é igual +30 dB.

Para encontrar o ganho global total, os ganhos individuais são adicionados.

- O sinal + indica um ganho.
- O sinal - indica uma atenuação.

$$10 \text{ Log}_{10} \frac{P_{\text{Saída}}}{P_{\text{Entrad.}}} \text{ dBs}$$

Se se usar relação entre tensões então a formula a utilizar será:

$$20 \text{ Log}_{10} \frac{U_{\text{Saída}}}{U_{\text{Entrad.}}} \text{ dBs}$$

Podemos por isso usar alguns valores de referência para aplicação direta prática.

- $P_{\text{dB}} = 3 \text{ dB}$ então $P_{\text{saída}}$ é o dobro de P_{entrada}
- $P_{\text{dB}} = 10 \text{ dB}$ então $P_{\text{saída}}$ é 10 vezes maior que P_{entrada}
- $P_{\text{dB}} = -10 \text{ dB}$ então $P_{\text{saída}}$ é 10 vezes menor que P_{entrada}
- $P_{\text{dB}} = 20 \text{ dB}$ então $P_{\text{saída}}$ é 100 vezes maior que P_{entrada}
- $P_{\text{dB}} = -20 \text{ dB}$ então $P_{\text{saída}}$ é 100 vezes menor que P_{entrada}
- $V_{\text{dB}} = 6 \text{ dB}$ então $V_{\text{saída}}$ é o dobro que V_{entrada}
- $V_{\text{dB}} = 20 \text{ dB}$ então $V_{\text{saída}}$ é 10 vezes maior que V_{entrada}
- $V_{\text{dB}} = -20 \text{ dB}$ então $V_{\text{saída}}$ é 10 vezes menor que V_{entrada}
- $V_{\text{dB}} = 40 \text{ dB}$ então $V_{\text{saída}}$ é 100 vezes maior que V_{entrada}
- $V_{\text{dB}} = -40 \text{ dB}$ então $V_{\text{saída}}$ é 100 vezes menor que V_{entrada}



Áudio e Classe de Amplificadores

Áudio

O **som (áudio)** é a propagação de uma oscilação mecânica, pois esta onda não se propaga no vácuo mas sim propaga-se em meios materiais com massa e elasticidade (sólidos, gasosos, líquidos). A sua frequência distingue-se pela possibilidade do ser humano conseguir ouvir essa oscilação. As frequências de áudio encontram-se no espectro de frequências entre 20 Hz e 20 kHz, a sua amplitude e energia mede-se em Decibéis.

Potência Sinal Áudio

Potência RMS

A **potência RMS** ou valor quadrático médio ou rms (do inglês “root mean square”) ou valor eficaz é a potência gerada por uma corrente e tensão alternada que tem o mesmo efeito de uma corrente e tensão contínua.

Potência Pico-a-pico

A **potência PP (pico-a-pico)** - refere o nível de pico a pico - Peak-to-Peak. É a potência entre os picos superiores e inferiores de saída. Pode ser calculado o valor RMS a partir deste valor usando a seguinte expressão $P_{\text{pico-a-pico}} = 2 \times \text{Pico}$ ou $\text{RMS} = \text{Pico} / 1,414$

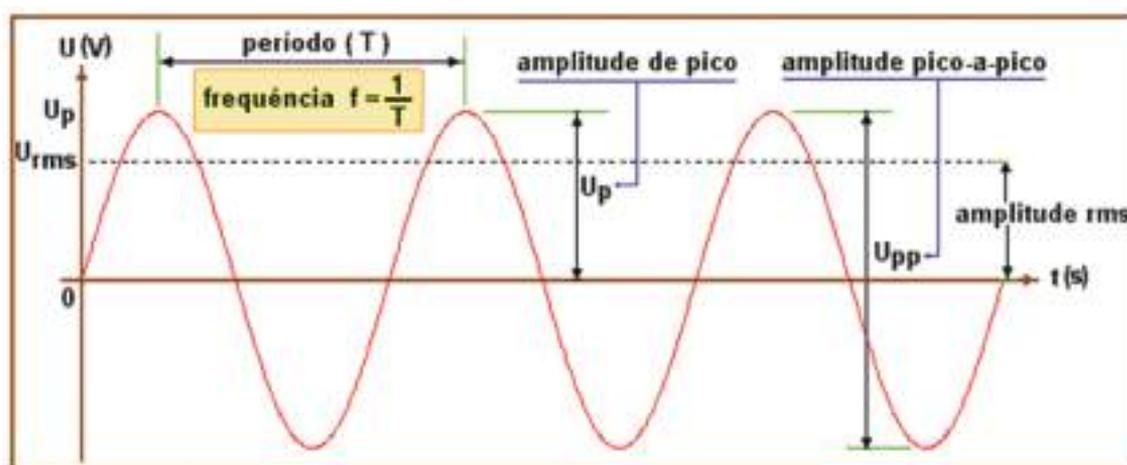


Figura 3 – Significado das várias componentes de potência áudio numa onda alternada sinusoidal.



Potência PMPO

A **potência PMPO** - referencia o nível de pico de saída instantânea - Peak Momentary Performance Output. O valor é instantâneo e existem muitas formas de cálculo, sendo que cada fabricante pode dar um valor que mais lhe adequa. A PMPO é uma medida realizada no máximo do máximo que um sistema sobre condições restritas pode fornecer. É importante por isso nos fatores de comparação usar algo constante à potência RMS.

Amplificadores Áudio

Um **amplificador áudio** é um amplificador eletrônico que amplifica sinais compreendidos entre as frequências de 20 Hertz 20.000 hertz, com um nível apropriado onde os sinais podem colocar em funcionamento os altifalantes. A primeira fase de um amplificador de áudio é composta por etapas que executam tarefas como a pré-amplificação, controlo de tom, equalização, mistura e efeitos ou fontes áudio como leitores- gravadores, de CD ou cassetes. A maioria dos amplificadores necessita de entradas de baixo nível.

O sinal de entrada a um amplificador pode ser de apenas alguns microwatts e o da sua saída pode ser dez, cem ou milhares de watts.

Quando referimos amplificadores de áudio e as suas etapas de saída, as configurações mais comuns são: A, B, AB, D, G, e H.

Classes de amplificadores

Amplificador classe A: Usada apenas em amplificadores Hi-Fi, tanto transistorizados como com válvulas. Elevada fidelidade na reprodução, com um consumo de energia e libertação de calor muito alto, os transístores (ou válvulas) de saída conduzem de forma permanente, mesmo na ausência de sinal.

Amplificador classe B: Apresenta distorção (de crossover) elevada em níveis baixos de sinal. Apenas metade dos transístores de saída conduzem de cada vez (cada semiciclo), daí a maior eficiência. Encontra-se este tipo de amplificadores em PA de alta potência e em equipamentos portáteis por causa do baixo consumo.



Amplificador classe AB: Modo intermédio entre as classes anteriores (daí o nome), reunindo algumas vantagens de ambas. É a classe de amplificadores mais usada atualmente. Os transístores conduzem ligeiramente, quando na ausência de sinal.

Amplificador classe D (ou PWM): Vulgarmente chamado “amplificador digital”, funciona segundo a técnica de modulação por largura de pulso (PWM). Usa-se de forma cada vez mais frequente em aplicações onde se exige alto rendimento como em multimídia ou telefonia.

Amplificador classe G e H: Funcionam segundo princípios semelhantes, sendo a H uma evolução da G (em alguns países, as definições são invertidas). Cada um tem sua própria fonte de alimentação com valores diferentes, que atuam de acordo com o nível de saída exigido. Na classe H, a tensão mais alta da fonte é modulada pelo sinal de entrada. A classe H começa a ser comum em PA, nos amplificadores para graves.

Características das classes de amplificação mais comuns em áudio

Classe	A	A/B	B	D	H
Eficiência	Baixa	Média	Alta	Alta	Alta
Qualidade em baixas frequências	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Qualidade em altas frequências	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Relação Custo-Potência	Fraca	Média	Média	Boa	Boa
Relação Peso-Potência	Fraca	Média	Média	Boa	Boa



O Som

Ondas Sonoras

Quando um objeto vibra, o ar em redor desse objeto é forçado a mover-se. O ar comprime-se, quando o objeto se move para fora e expande-se, para ser menos denso quando o objeto se move em sentido contrário, como se mostra na Figura 4. Estas pressões e expansões são produzidas tantas vezes quantas o objeto se move, durante a sua vibração. Uma compressão seguida de expansão de ar é um ciclo.

O nosso ouvido pode detetar mudanças de pressão (som) no ar, se essas alterações ocorrerem entre os 20 e os 20.000 ciclos por segundo. A estas mudanças de pressão alternadas chama-se frequência do som, e à unidade de frequência chama-se hertz (Hz), e raramente ciclos por segundo.

Quando se produz uma área de alta ou baixa pressão, esta afasta-se rapidamente do objeto em vibração. A este movimento de pressão chama-se velocidade do som e mede-se em metros por segundo (m/s). A pressão sonora normalmente viaja através do ar a (300 m/s).

As áreas de alta e baixa pressão de som formam uma onda longitudinal, à medida que se afasta da sua fonte. A Figura 5 mostra como um ciclo simples do som se move através do ar, em sentido longitudinal. A distância a partir duma área de compressão (alta-pressão) até ao fim da área de expansão seguinte (baixa-pressão), chama-se comprimento-de-onda. O conhecimento do comprimento-de-onda dos sons é importante para o projeto e ajuste do equipamento estéreo e das áreas de audição.

Uma vez que a velocidade do som é normalmente constante, o comprimento de cada onda longitudinal pode obter-se dividindo a velocidade do som pela frequência do som, como se mostra na fórmula seguinte.

$$\text{Comprimento-de-onda} = \text{Velocidade do Som} / \text{Frequência da Som}$$

O exemplo seguinte mostra que um som de 400Hz tem um comprimento de onda de 0,75m.

$$(300\text{m/s}) / (400 \text{ Hz}) = \text{comprimento de onda} = 0,75\text{m}$$



Outro tipo de onda muitas vezes referido relativamente a sistemas de som é a onda transversal. Uma onda sinusoidal é um exemplo de uma onda transversal. Desenvolve-se um espectro de onda transversal, quando a tensão do sinal áudio é vista em gráfico ou no osciloscópio. Também são desenvolvidas ondas transversais quando as mudanças de pressão de uma longitudinal de passagem são vistas num gráfico ou osciloscópio.

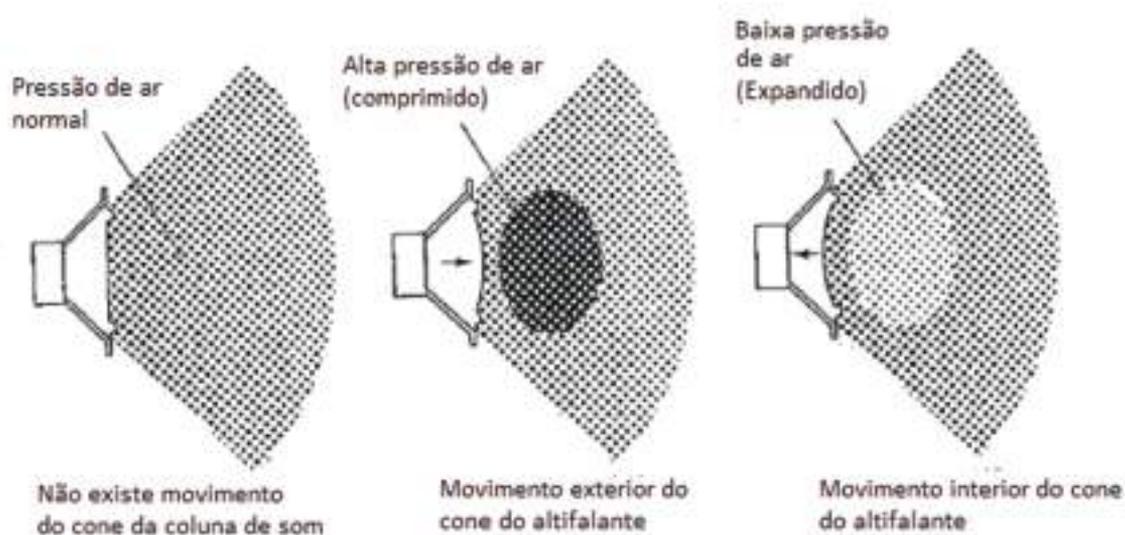


Figura 4 – Áreas de alta e baixa pressão produzidas pelo movimento do cone do altifalante ou outro objeto.

As ondas sonoras são produzidas por estas mudanças de pressão.

A Fig. 6 mostra uma comparação de uma onda longitudinal e uma transversal. Ambas fazem parte do som stereo e serão mencionadas mais tarde. À medida que as ondas longitudinais deixam o objeto, espalham-se para formarem um espetro mais largo, como se mostra na Fig. 7. A esta difusão de ondas sonoras chama-se dispersão e é medida em graus do ângulo do espetro. Observe pela comparação dos dois que a dispersão natural é mais estreita em altas frequências e mais larga em baixas frequências.

Em frequências muito baixas, as ondas sonoras espalham-se tanto que quase envolvem totalmente a fonte. As ondas sonoras são geralmente mais fortes na parte central do diagrama (no sentido do eixo) e tornam-se mais fracas na à medida que se afastam na direção dos bordos do espetro sonoro. O bordo do espetro sonoro é determinado pela queda do valor de pressão da onda para 75% da pressão máxima, existente no eixo. Os espetros das ondas sonoras são importantes para a colocação



de microfones e altifalantes de forma que o ouvinte tenha uma recepção de alta qualidade.

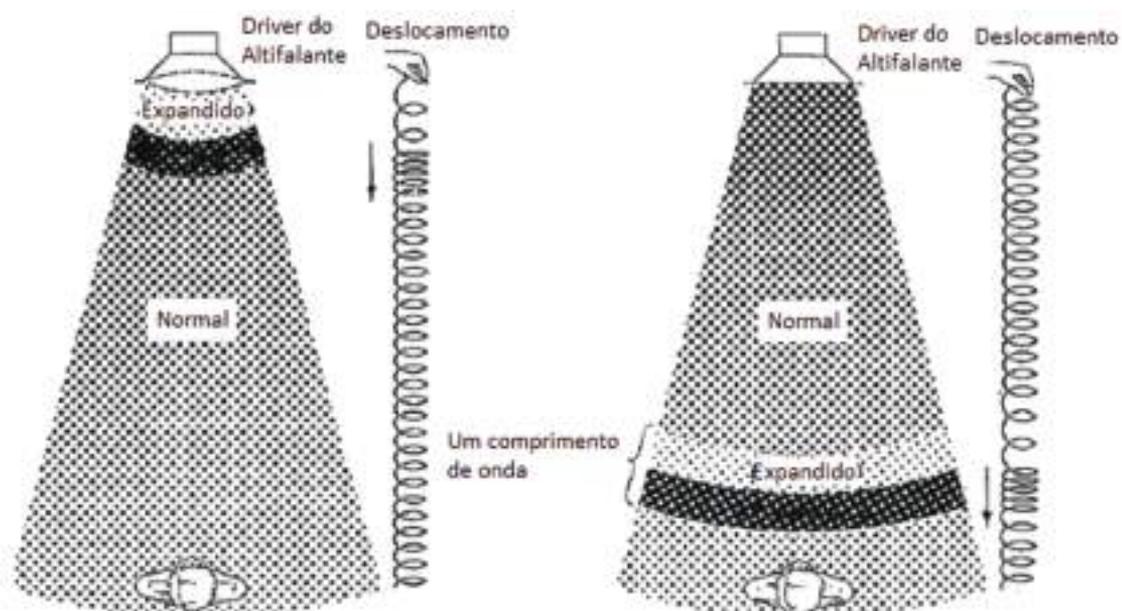


Figura 5 – O movimento de um impulso sonoro simples, provocado pela deslocação duma onda longitudinal.

Usa-se uma mola para demonstrar como uma onda sonora viaja.

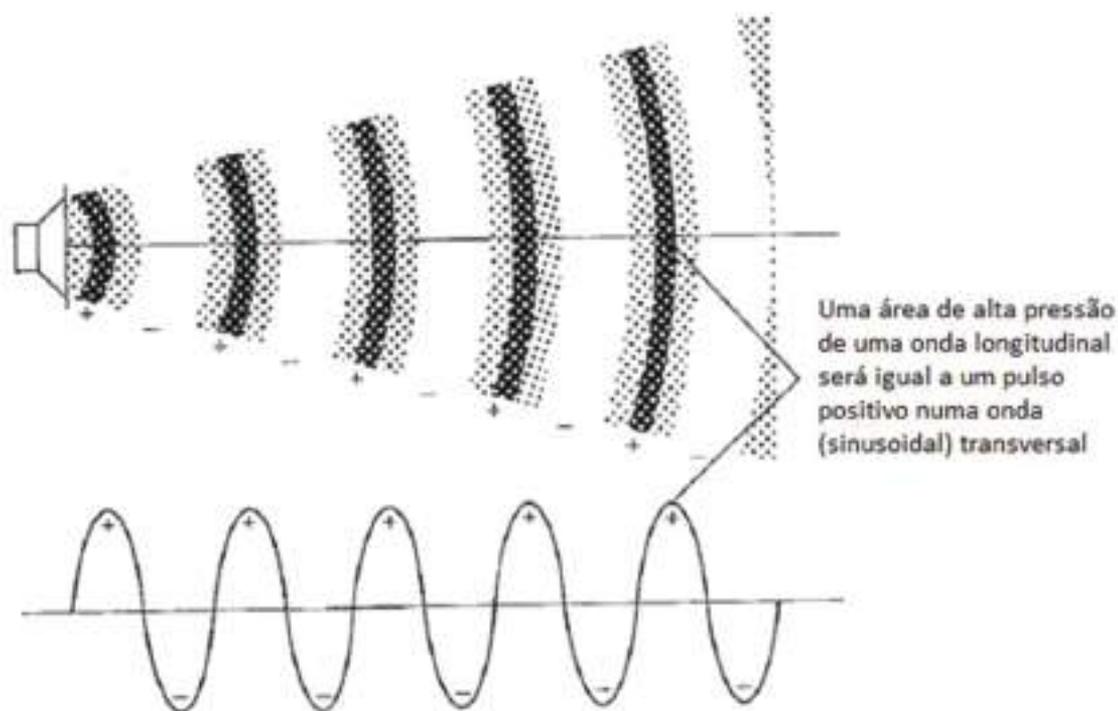


Figura 6 – Uma comparação entre uma onda longitudinal e a sua equivalente onda elétrica (sinal) transversal.





Figura 7 – Uma comparação de ângulos de dispersão para (a) baixa frequência e (b) alta frequência.

RUÍDO

O ruído no sistema stereo é um som irritante e indesejável. O ruído pode ser causado por problemas mecânicos, tais como uma placa solta batendo com intermitência na traseira dum altifalante. O ruído pode ser causado igualmente por problemas elétricos, tais como o faiscar dos contactos do comutador ou escovas do motor, deficiência na corrente de alimentação, transístores de baixa qualidade, tempestades elétricas, ou outros sinais atmosféricos.

À quantidade de ruído num componente áudio ou sistema chama-se nível de ruído e é comparável ao sinal áudio principal para uma relação sinal-ruído (S/N).

As relações de S/N de 60 dB ou mais são comuns em muitos tipos de equipamento áudio. Uma relação S/N de 60 dB significa que a tensão de sinal é 1000 vezes mais forte que a tensão de ruído. Ruído branco é uma mistura aleatória de todas as frequências áudio, cada uma das quais a um nível de tensão igual. O ruído entre as estações FM é semelhante ao ruído branco. Contudo, um problema com ruído branco é o aumento natural de tensão de 3 dB por oitava, à medida que aumenta a frequência.



Este aumento de tensão de 3 dB acontece porque cada oitava mais alta inclui duas vezes mais sinais de frequência, o que duplica a energia de oitava. O ruído rosa também contém todas as frequências áudio, mas a gama de frequência divide-se em oitavas. Cada oitava é filtrada e atenuada para obter uma quantidade igual de energia, assim o som não parece mais alto em altas frequências. Tanto o ruído branco como o rosa são ferramentas úteis na elaboração de sistemas de teste ou análise de avaria.

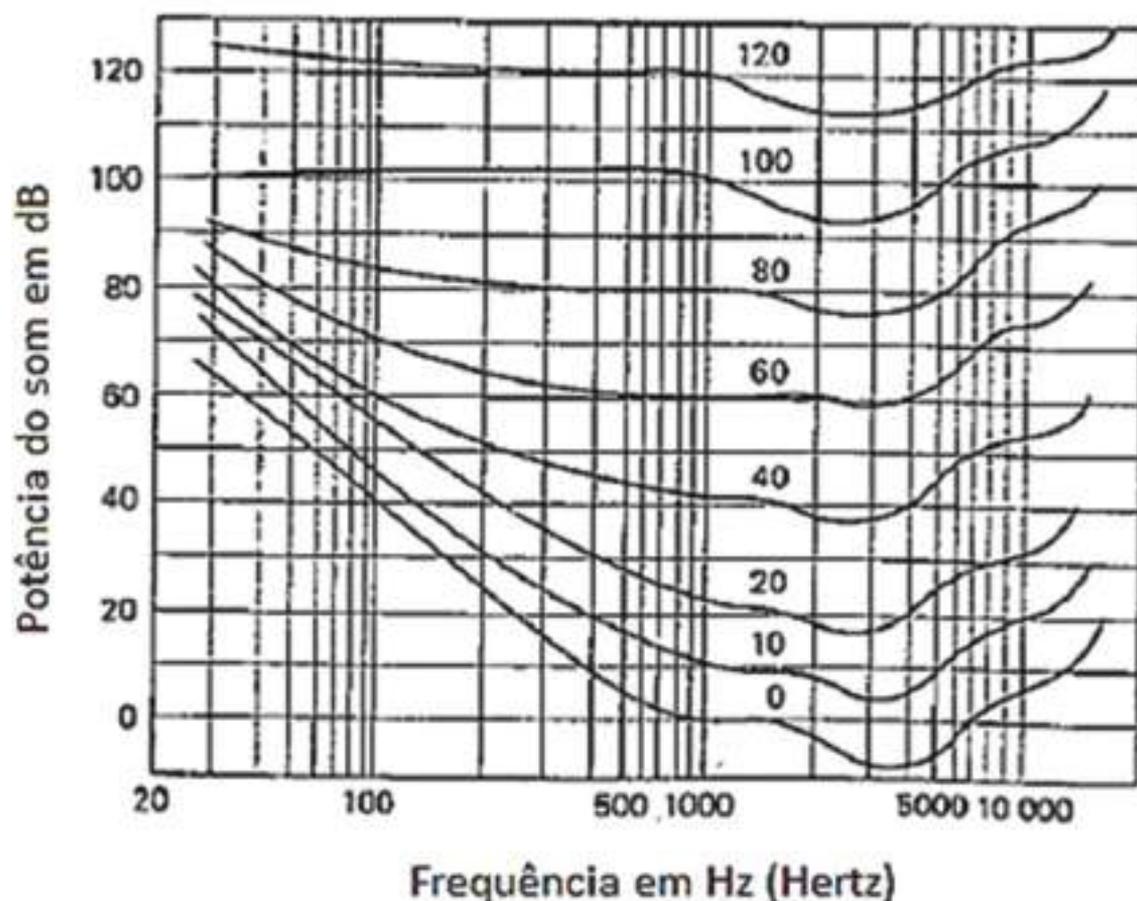


Figura 8 – Curvas de resposta audível para várias frequências e níveis de som



Perguntas de revisão

1. _____ é a distância de uma área de compressão, até à próxima área de compressão, numa onda longitudinal.
2. O som desloca-se a _____ m/s, quando o ar se encontra à pressão atmosférica normal.
3. À dispersão das ondas sonoras chama-se _____.
4. A gama de áudio normal é de _____ a _____ Hz.
5. O som stereo é composto por quantas ondas? Mencione Quais?
6. A difusão de ondas sonoras denomina-se por outra designação. Qual?
7. A difusão das ondas sonoras é mais estreita em altas ou baixas frequências?



Estereofonia

Equipamento Estéreo

Antes de iniciar este capítulo convém efetuar a definição de alguns novos termos relacionados com o áudio.

- Driver: O transdutor que transforma energia elétrica em som.
- Carga de Substituição: Uma carga substituta para um amplificador, quando um altifalante não estiver a ser usado.
- Retorno: Um ruído de interferência causado pelas ondas de som do altifalante, vibrando na fonte do sinal.
- Ruído de Interferência: Som indesejável tal como um zumbido de 50Hz, estática, vibração de retorno, etc.

Os sistemas stereo modernos incluem pelo menos três segmentos de equipamento básico: uma fonte de sinal áudio, um amplificador e um sistema de altifalantes, como se mostra na Figura 9.

Em sistemas de qualidade média-alta são usados equipamentos separados. Especificações detalhadas são dadas para cada equipamento em separado, para ajudar o cliente e o técnico a determinar a qualidade que pode ser obtida. Cada componente deve ser ligado ao sistema por cabos áudio, que transportam sinais sonoros. Os circuitos de entrada e saída são estandardizados, o que permite montar um sistema stereo composto por componentes de diversos fabricantes.

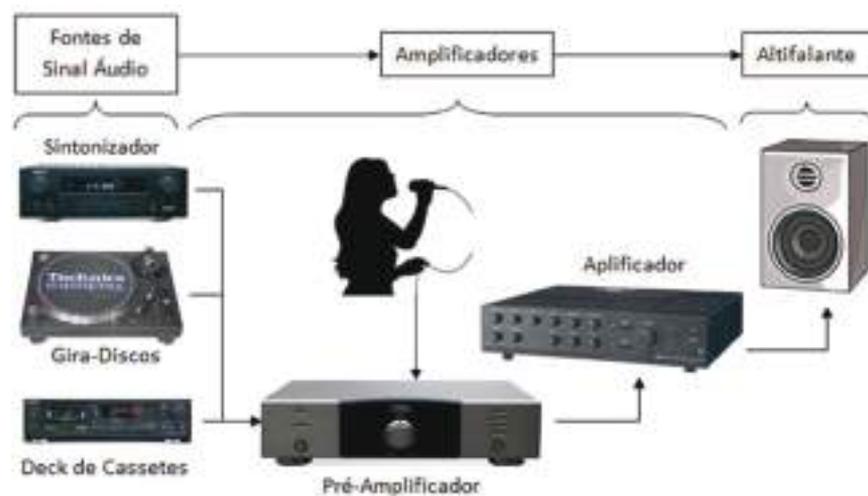


Fig. 9 - Mostram-se as três secções básicas dum sistema stereo com componentes separados.



Muitos dos testes e demonstrações com o equipamento stereo requerem precauções especiais durante a utilização, para prevenir um acidente com o operador ou avarias no equipamento. A informação decorrente do tema seguinte dá, de modo resumido, a segurança e uso correto dos equipamentos stereo mais comuns.

Fontes de sinal

Os microfones são o componente básico em quase todos os sistemas de gravação de som stereo. Embora os microfones sejam comuns em estúdios de gravação profissional, também são utilizados para fazer gravações privadas em sistemas stereo. Duas características importantes dos microfones são a sua impedância e o seu espectro de captação.

As impedâncias baixas de cerca de 2000 são geralmente utilizadas em trabalho de estúdio, onde são necessários cabos de microfone muito compridos. As altas impedâncias de cerca de 50.0000 são utilizadas em sistemas de stereo particulares, onde o comprimento do cabo do microfone é inferior a 6 metros. Os microfones de alta impedância comparados com os de baixa impedância utilizam circuitos de amplificação interna mais simples e de mais baixo custo, mas têm a desvantagem de ter uma relação S/R mais baixa. Os sinais de microfone são de muito baixo nível (cerca de 6 milivolts (mV) ou menos), de forma que a impedância do microfone e circuito de entrada de amplificação deve ter igual valor para produzir um sinal forte com boa frequência de resposta e baixa distorção.

O espectro de captação é também importante no funcionamento do microfone. Os dois tipos mais comuns são omnidirecionais, os quais captam igualmente o som em todas as direções e cardioide, o qual capta o som, principalmente de frente. Os espectros de captação são muito afetados pela frequência do som, porque os sons de alta-frequência têm uma dispersão mais estreita. A frequência de resposta dos microfones pode ficar danificada, devido ao mau uso, tal como queda e a maioria dos microfones devem, por isso, ser manuseados com cuidado, a fim de manterem as características de origem.

O fonógrafo ou o toca-discos de há uns anos atrás foram muito melhorados e agora chamam-se reproduzidor de discos ou deck gira-discos.

Dá-se, geralmente, o nome de “reprodutores de discos” a uma parte dos sistemas stereo compactos de baixo preço. “Deck gira-discos”, como o que se mostra na Figura



10 são geralmente utilizadas em sistemas stereo de componentes separados e pode ter funcionamento manual, semiautomático ou automático. Os decks gira-discos (incluindo os reprodutores de discos) são aparelhos eletromecânicos muito delicados, especialmente o braço e a agulha e devem, por isso, ser manuseados com muito cuidado, a fim de evitar qualquer avaria.

Os sinais produzidos pelos gira-discos são de nível baixo (cerca de 4mV ou menos) e são facilmente afetados por ruídos de interferência.

Para se reduzirem os ruídos de interferência da fonte de 50Hz AC, os cabos áudio devem ser o mais curto possível e não devem ser colocados junto aos cabos de alimentação AC. Deve ser ligado um fio de terra a partir do chassis do deck gira-discos ao chassis do amplificador, para uma redução suplementar do ruído de interferência. O deck gira-discos produz, geralmente, o som de melhor qualidade em relação às outras fontes de sinal pré-gravadas.

Os sistemas de cinta, incluindo gravadores de cinta, reprodutores e decks, são muitas vezes uma fonte comum de som dos modernos equipamentos stereo. Os gravadores e os reprodutores de cinta fazem geralmente parte dos sistemas modulares que também contém amplificadores e altifalantes. O termo “deck de gravação” refere-se a um componente de gravação stereo, como se mostra na Figura 11, que geralmente contém apenas um pré-amplificador. Os decks de gravação requerem um amplificador de potência, em separado e altifalantes, para formar um sistema completo. Um sistema de cinta pode ter o formato de bobines, ou cassete. O sistema de bobines foi o primeiro a ser desenvolvido e ainda é usado em trabalhos de gravação profissional, para sons de muito alta qualidade.



Figura 10 - Gira-discos totalmente automático.





Figura 11 - Exemplo dum deck de gravação de cassetes.

Os sistemas de cassette são muito utilizados devido à facilidade de utilização, dimensão e qualidade de gravação. Os mecanismos de cassette, como todos os tipos de mecanismos de gravação, necessitam que as cabeças sejam limpas com frequência e desmagnetizadas, para reduzir o silvo de cinta, a perda de sinal e a distorção. A limpeza e a desmagnetização são especialmente importantes para o bom funcionamento, quando reproduz uma cassette de teste de alta qualidade.

Os sintonizadores AM/FM podem ser componentes separados, mas algumas vezes dividem entre si a fonte de alimentação do amplificador, o chassis e a caixa, como se mostra na Figura 12 e são chamados por isso recetores. Inicialmente era necessário por vezes o ajuste e alinhamento dos circuitos de sintonia, nos primeiros modelos, mas os mais recentes circuitos “solid-state” são mais estáveis e mais fiáveis.



Figura 12 - Um recetor com um sintonizador de AM/FM e um amplificador integrado no mesmo chassis.

Os sintonizadores FM são muitas vezes usados com antenas exteriores, para melhorar a qualidade do sinal, mas devem observar-se algumas precauções importantes:



1. As antenas devem ser montadas em mastros fortes, de forma a suportarem ventos fortes ou o peso do gelo.
2. Os fios internos das antenas devem ser colocados bem afastados dos fios de alimentação sob tensão, para evitar a possibilidade de contacto accidental, como se mostra na Figura 13.

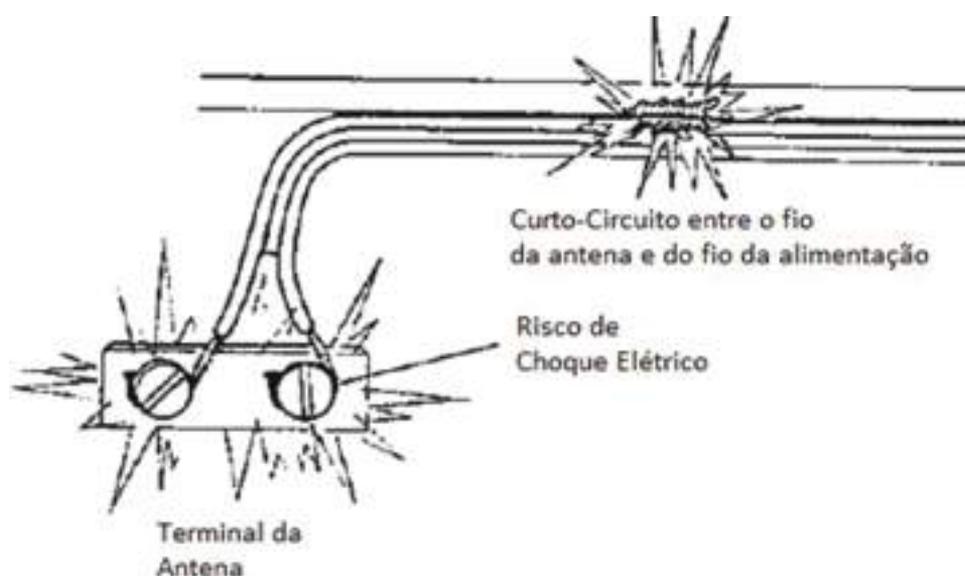


Figura 13 - O fio de antena deve ser colocado afastado dos fios de alimentação sob tensão, tanto no interior como no exterior, para evitar o contacto accidental e o choque elétrico.

3. O mastro de antena deve estar permanentemente ligado à terra e um pára-raios instalado no topo do mastro.

O respeito por estas três importantes diretrizes ajudarão a evitar acidentes tanto ao cliente como ao técnico e possíveis danos no circuito de sintonia.

Amplificadores

O pré-amplificador e circuitos de amplificação constituem o coração do sistema sonoro. Os pré-amplificadores são usados para aumentar e diminuir o baixo nível de tensão dos sinais das fontes normais, tais como microfones, decks gira-discos e cabeças de decks de gravação. Os pré-amplificadores contêm os circuitos de controlo principal para o sistema stereo; este comanda os do balanço do altifalante, baixos, oitava, filtros, volume, comutador de modo (stereo-mono) e comutadores funcionais (seletor da fonte de sinal).



Os amplificadores de potência, em comparação, fazem apenas a seleção de alguns comandos e algumas vezes do nível de volume principal. Os amplificadores de potência mudam o sinal fraco ($1/2V$ ou menos) do pré-amplificador para um sinal forte, com energia suficiente para alimentar os altifalantes. A potência de sinal necessária aumenta gradualmente à medida que o nível de som for aumentando. Por exemplo, dobrando a altura de som, sobe o SPL 10 vezes (10dB) e requer um aumento de 10 vezes mais potência de sinal elétrico (10dB). A Figura 14 mostra a comparação da potência necessária para elevar um som do nível de conversão normal (60dB) ao mínimo ou ao nível de concerto (120 dB). Note como a potência aumentou de apenas 0.004W a 400W.

POTÊNCIA	SOM
0.004 W	70dB
0.04 W	80dB
0.4 W	90dB
4. W	100dB
40 W	110dB
400W	120dB

Figura 14 - Uma tabela comparando o aumento necessário em potência por cada 10dB de aumento no som.

O pré-amplificador e o amplificador de potência repartem muitas vezes o mesmo chassis e a mesma fonte, como se mostra na Figura 15. Aos dois amplificadores combinados chama-se um amplificador Integrado. De todos os componentes, os amplificadores são provavelmente os mais eficientes em alta qualidade e menos interferência.



Figura 15 - Um exemplo de amplificador integrado que contém um pré-amplificador e um amplificador de potência. (Cortesia dos Laboratórios Hi-Fi da Philips).



A eficiência e qualidade são elevadas, dado que só a energia elétrica está a ser processada. Dado que os amplificadores têm apenas algumas peças móveis, raramente tem problemas mecânicos. Contudo, o uso indevido pode causar problemas eletrónicos, especialmente na entrada de baixo nível e nos circuitos de saída de alto nível.

Devem consultar-se os manuais de serviço do amplificador, antes de ligar os circuitos de entrada. Em resultado do uso de tensões demasiado elevadas poderá resultar distorção e possível avaria do circuito. A Figura 16 mostra a tensão e níveis em decibéis dos sinais de entrada e saída dum pré-amplificador normal e dum amplificador de potência. As entradas de phones e de microfones são as mais sensíveis e normalmente trabalham a menos de 5mV.

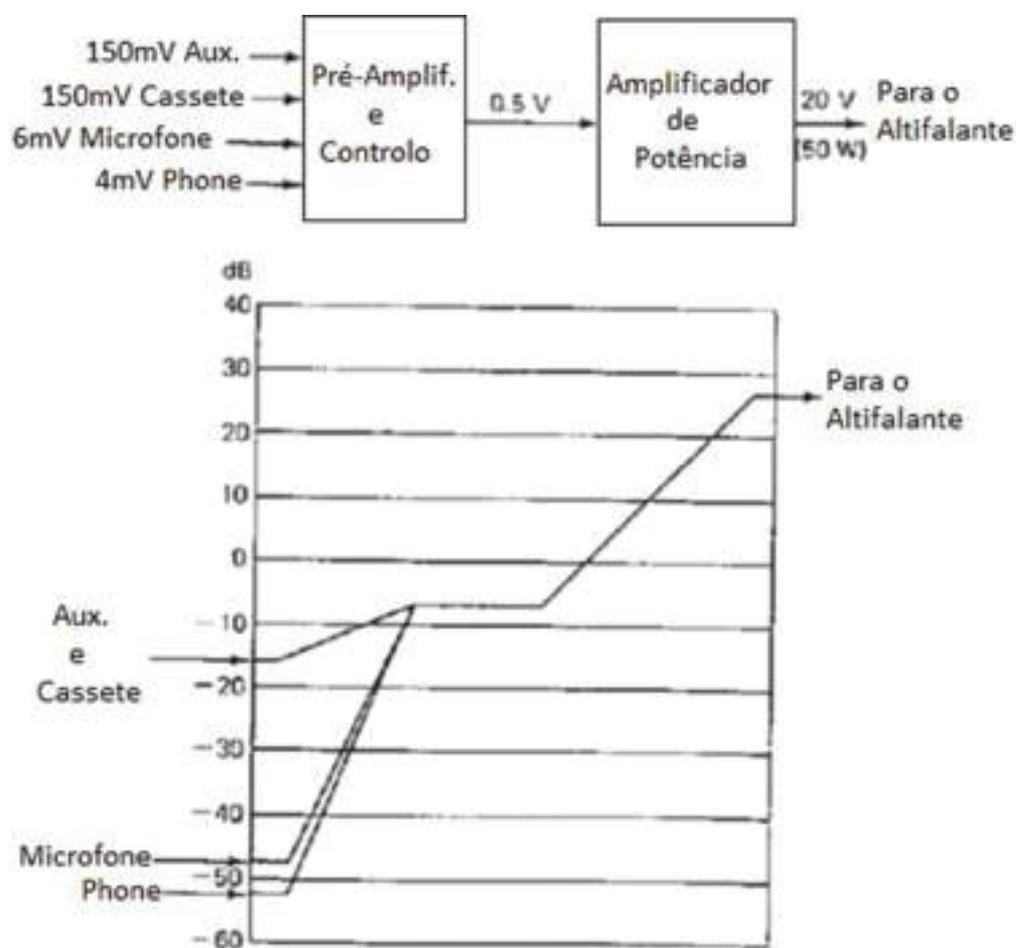


Figura 16 - Exemplos de níveis de entrada para fontes de sinais normais.

Assegure-se de que liga cada fonte de sinal na entrada correta. Por exemplo, nunca ligue um gravador a uma entrada de phono, pois que o seu sinal pode ser até 100 vezes mais forte. Também nunca ligue os condutores do altifalante doutro amplificador às entradas



de baixo nível, porque a impedância e o desequilíbrio da tensão podem causar problemas sérios a ambos amplificadores.

Os geradores áudio são geralmente usados como fonte de sinal durante o teste. Certifique-se de que coloca um voltímetro ou osciloscópio nos condutores de saída dum gerador áudio, para verificar e ajustar a tensão, antes de ligá-la ao amplificador de baixo nível.

Quase todos os geradores áudio modernos contêm circuitos atenuadores, para reduzirem a tensão de drive para os níveis desejados. Se, contudo, um gerador de sinal necessitar de maior atenuação, uma simples rede de resistências, como se mostra na Figura 17 pode ser utilizada na saída do gerador. A rede de resistências R1 e R2 devem estar na relação direta com a atenuação desejada. Por exemplo, se for necessário um sinal de 250mV para o “drive” de um pré-amplificador, um sinal de 1V pode ser atenuado, colocando uma resistência de 75k Ω em série, à saída do gerador. O “drive” de 250mV pode ser tomado duma ligação em paralelo, através da resistência R1.

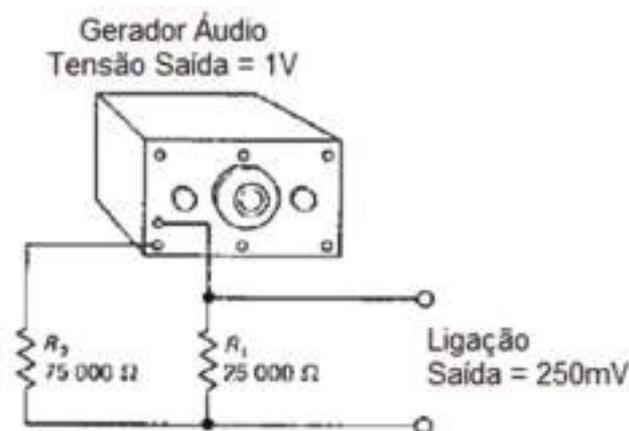


Figura 17 - Rede de resistências para atenuação da saída do gerador áudio.

As saídas do altifalante devem igualmente ser ligadas a altifalantes ou a “cargas fictícias”, sempre que o amplificador esteja a funcionar. A maioria dos amplificadores necessita de uma carga de impedância de altifalante de 4 a 16 Ω . Uma resistência de 8 Ω de carvão, não-indutiva duma relação de potência superior à saída do amplificador deve ser usada como carga “fictícia”, para testes de amplificação.

Tenha o cuidado de não desligar os condutores do altifalante, enquanto o amplificador estiver a fornecer corrente. Se desligar um altifalante, enquanto a corrente está a



ser fornecida, pode danificar o amplificador final. Muitos amplificadores modernos utilizam condensadores de acoplagem ou retificadores (SCRs) de controlo de silício, entre os transístores de saída e os altifalantes para proteger o circuito, se os altifalantes estiverem desligados por pouco tempo. Outro problema de ligação do equipamento é o curto-circuito das linhas do altifalante. As linhas do altifalante são frequentemente mudadas, dobradas, acavaladas ou danificadas, o que pode ocasionar quebras internas ou curtos-circuitos. A maioria dos amplificadores está protegida contra curtos-circuitos e sobrecargas, por fusíveis ou corta-circuitos, na secção de saída do altifalante. Para ajudar a reduzir o problema dos curtos-circuitos, todos os condutores de ligação de componentes devem ser muito flexíveis e muito bem isolados e ter os terminais bem limpos. Se tiverem que ser utilizados condutores para ligação de terminais, tais como alto-falantes, as extremidades do fio devem ser estanhadas, para evitar que se soltem, o que poderia causar um curto-circuito.



Colunas de Som

Altifalantes

O altifalante é um transdutor eletroacústico, da mesma forma que os microfones, no entanto a função do altifalante é converter o sinal elétrico em vibração sonora, essa conversão dá-se no sentido inverso do microfone.

Nos altifalantes é preciso fornecer altas pressões acústica, e portanto o nível de sinal elétrico aplicado a ele deve ser muito grande, isso implica o uso de amplificadores.

O princípio de funcionamento de um altifalante pode ser visto na figura 18.

Um altifalante é constituído basicamente de quatro elementos: estrutura, cone, bobina móvel e íman.

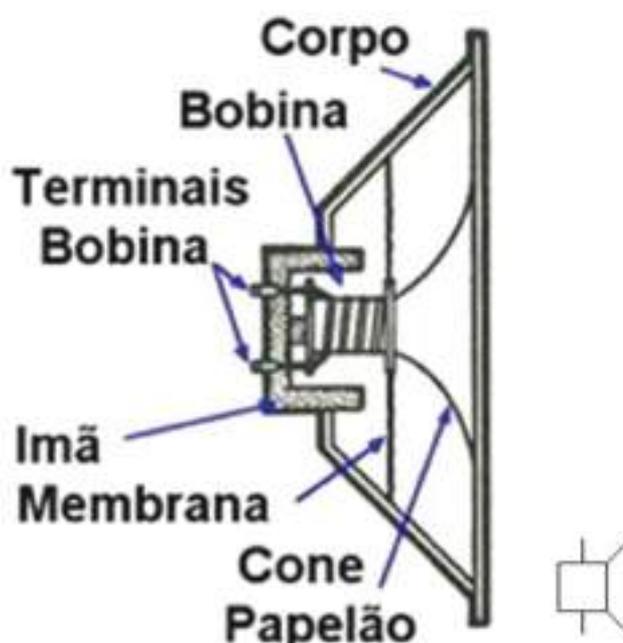


Figura 18 - Altifalante.

A analogia fundamental é simples, dois ímanes tanto se podem atrair como se podem repelir. O que ocorre no altifalante é o mesmo, pois o ímã gera um campo magnético fixo, enquanto a bobina, ao ser percorrida por uma corrente elétrica, também gera um campo magnético que tanto se pode opor como se pode igualar em sentido ao do ímã. Isto acontece porque o sinal aplicado à bobina do altifalante é de corrente alternada, assim sendo, quando a corrente circula num sentido na bobina, é criado um campo



magnético que faz com que a bobina seja repelida pelo ímã, e quando a polaridade se inverte faz com que a corrente que circula em sentido contrário origine que a bobina seja atraída pelo ímã.

A conversão do sinal elétrico para sonoro dá-se ao prendermos a bobina num cone, que por sua vez se encontra fixo à estrutura. O movimento da bobina para frente e para trás faz com que o cone, ao se deslocar, movimente o ar, provocando uma pressão sonora. Ou seja, se injetarmos um sinal de 1KHz a um altifalante, o seu cone deverá movimentar-se 1000 vezes por segundo. Tal facto influencia a estrutura de um altifalante, já que fica evidente que um altifalante de grandes dimensões e elevado peso do conjunto cone+bobina terá dificuldades de efetuar movimentos rápidos (alta frequência).

Classificação dos altifalantes

Para uma melhor reprodução de toda a faixa de áudio (20 Hz a 20 KHz), um aparelho de maior qualidade usa um altifalante para cada intervalo de frequências.



Figura 19 – Classificação dos altifalantes.

Woofers – Resposta aos graves (baixas frequências). São altifalantes cuja faixa de resposta se situa entre 40Hz e 1KHz aproximadamente. As suas dimensões e peso são normalmente as maiores dentro de todos os tipos de altifalantes, o que explica a sua característica de não conseguir responder satisfatoriamente às altas-frequências.

Mid-range – Resposta aos médios, entre 200Hz e 7KHz aproximadamente. Apesar de terem uma forma construtiva semelhante aos dos woofers (pelo menos na aparência), esses altifalantes são mais leves, o que possibilita um aumento da sua faixa de resposta em frequência.



Full-range – Resposta ampla. Caracterizam-se por cobrirem uma faixa maior que a dos mid-range, normalmente entre 100Hz e 10KHz, sendo utilizado em sistemas de menor potência, como nos de sonorização ambiente.

Tweeters – Resposta aos agudos (altas frequências). A sua frequência situa-se na faixa de 5KHz, indo até ao final da faixa audível, em torno dos 20KHz.

Características dos altifalantes

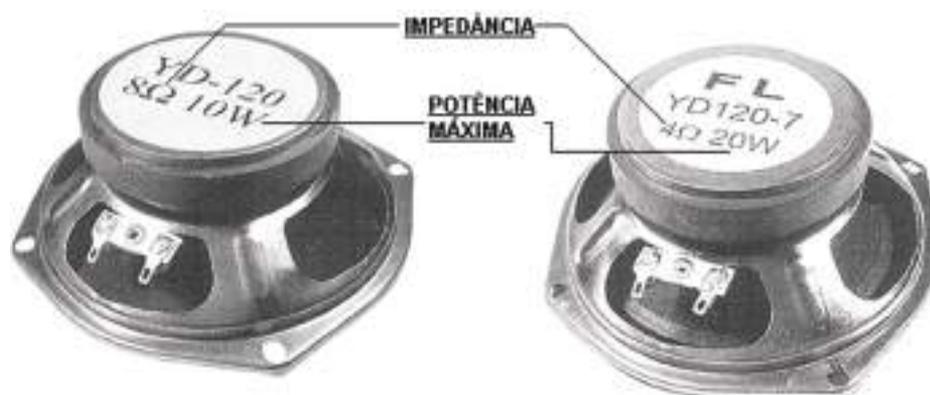


Figura 20 – Características dos altifalantes.

Impedância: É a oposição à passagem de corrente elétrica que o altifalante apresenta a uma dada frequência, os fabricantes fornecem em catálogo a impedância nominal, que deve ser usada para efeitos de cálculo de um sistema de amplificação.

Os valores normalmente encontrados em altifalantes profissionais são de 8 e 16 Ohm.

Potência nominal: É o maior valor de potência expresso em Watt que pode ser aplicado continuamente ao altifalante.

Caixas acústicas

As caixas acústicas têm a função de aumentar o rendimento sonoro de um altifalante.



Figura 21 – Caixa Acústica.



Ao ar livre, o som produzido por um altifalante sai tanto pela frente como por trás dele. Assim, o som que sai por trás anula parte do som da frente, reduzindo o rendimento do altifalante.



Figura 22 – Passagem do ar numa Caixa Acústica.

A caixa acústica é um recipiente fechado, onde o som produzido atrás do altifalante sai por outra abertura e soma-se com o som da frente, aumentando muito o som total e melhorando sensivelmente a qualidade.

Dentro da caixa acústica existem geralmente pelo menos um woofer e um tweeter. Algumas têm mais do que dois altifalantes. Também há um divisor de frequências (com bobinas e condensadores) usado dentro das caixas acústicas para fornecerem a cada altifalante a faixa de frequências apropriada ao seu funcionamento.

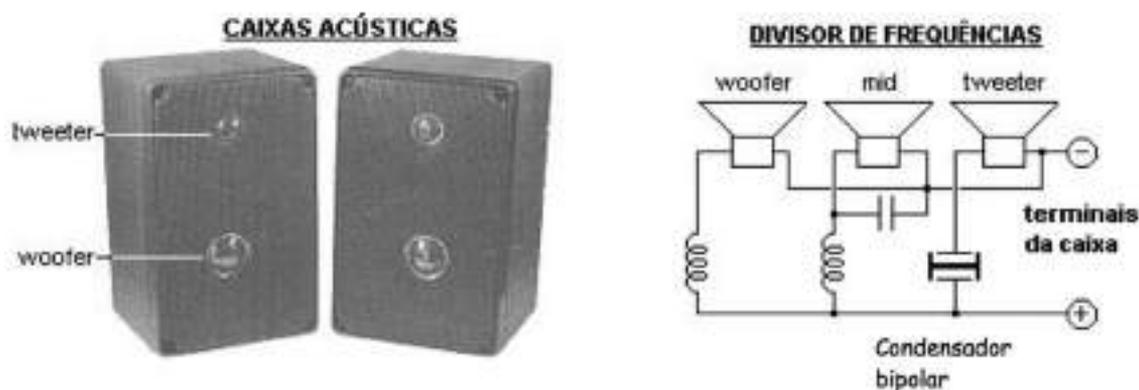


Figura 23 – Conteúdo de uma Caixa Acústica.



As bobinas facilitam a passagem das baixas-frequências (graves) e dificultam a passagem das altas-frequências (agudos)¹. Os condensadores funcionam de forma contrária às bobinas². O condensador bipolar é um eletrolítico que não tem polaridade.

A maior parte dos altifalantes são 10% menos eficientes, daí que a maior parte do sinal áudio se perca na conversão em calor. Os drivers, no interior dos altifalantes, podem desenvolver muito calor durante a emissão de sons contínuos de nível elevado, os quais podem causar distorção ou avaria. Quando tiver que se substituir o driver, este deve ser cuidadosamente selecionado, a fim de igualar a função do outro altifalante stereo.

A relação de potência dos altifalantes é usada para sinais musicais. Quando um gerador áudio é utilizado para produzir um som-teste, a relação de potência deve ser dividida a meio, a fim de evitar avaria.

Por exemplo, um altifalante com uma relação de potência musical de 40W rms, nunca deve ser utilizado com mais de 20W rms de potência de onda de sinal.

Ondas “quadradas” e “dente-de-serra” não são utilizadas normalmente tantas vezes como as ondas de sinal para testes de altifalantes de alta potência. A tensão nos condutores do altifalante deve ser medida durante as tonalidades de ensaio, para prevenir sobrecarga nos altifalantes. Isto é particularmente importante em frequências muito altas e muito baixas, em que ambos os altifalantes e o nosso ouvido sejam menos eficientes. O técnico pode ser levado por aquilo que não ouve e abrir a potência para além dos limites de segurança dos altifalantes.

Guias de instalação

A correção da localização e a utilização de equipamento stereo é importante para a segurança do operador e o bom funcionamento do equipamento. O equipamento stereo não deve ser colocado num suporte metálico, tal como uma estante, banca, ou mesa, durante o período de serviço, por causa da condução elétrica, que pode causar choque, ruídos de interferência, ou danificação do equipamento.

Uma estante ou banca de madeira é um bom suporte e uma boa superfície de trabalho para o equipamento stereo. No entanto, deve assegurar-se de que a estante é suficientemente forte para suportar o peso do equipamento sem cair. Prateleiras niveladas ou mesas

$$1 X_L = 2 \pi f L \text{ (se: } f \uparrow \Rightarrow X_L \uparrow \text{ ; se } f \downarrow \Rightarrow X_L \downarrow \text{)}$$

$$2 X_C = 1 / (2 \pi f C) \text{ (se: } f \uparrow \Rightarrow X_C \downarrow \text{ ; se } f \downarrow \Rightarrow X_C \uparrow \text{)}$$



que não “dancem” são muito importantes para o funcionamento correto da maioria das mesas giratórias. Nunca ponha uma mesa giratória a funcionar em cima dum altifalante. A mesa giratória nem sequer deve estar na mesma prateleira ou mesa do altifalante. As vibrações provenientes do altifalante provocarão, provavelmente a vibração da mesa giratória e produzirá um “feedback” no som.

Tenha o cuidado de não bloquear os orifícios de ventilação de ar existentes no equipamento de áudio, especialmente nos amplificadores. Alguns amplificadores podem desenvolver 100W ou mais de calor e necessitam de ar fresco. Colocar um componente em cima do outro não deve fazer-se, a menos que fique um espaço de, pelo menos, meia polegada ou mais entre os componentes. Também, não deve colocar o equipamento stereo perto duma fonte de calor ou luz direta do sol. As altas temperaturas podem resultar numa alteração do funcionamento do aparelho ou avaria do circuito.

Utilizam-se cabos áudio especiais para a condução dos sinais sonoros. Estes cabos devem ser muito flexíveis, geralmente com malha de proteção, reforçado nas ligações, com solda ou por meio de ligações “crimp” e possivelmente com códigos de cor. A malha metálica protetora (de cerca de 90% ou mais) em volta do condutor central, como se mostra na Figura 23 evita os ruídos de interferência fora dos sinais de nível baixo, entre as fontes de sinal e amplificadores. A capacidade destes cabos deve manter-se baixa [cerca de 40 pico farads (pF) por 0,31m ou menos], para prevenir a perda de altas frequências.



Figura 24 - Cabo Áudio para sinais de baixo nível

Os cabos áudio de alto nível são utilizados para condutores de altifalantes. Os cabos de alto nível geralmente não têm problemas de interferência, pelo que não é necessária uma proteção especial. Contudo, a capacidade de corrente do cabo do altifalante é importante. O condutor fino (N.º 20 ou ainda inferior), muitas vezes vendido como “fio de altifalante” não tem capacidade suficiente para suportar as cargas dos altifalantes maiores. Os condutores geminados n.º 16 ou 18 (“cabo zip”) são uma boa escolha para a maioria dos altifalantes stereo tipo médio.



Os ligadores áudio são também altamente especializados. Na Figura 25 podem ver-se os ligadores mais comuns utilizados no sistema stereo e listados abaixo, com uma breve informação acerca da função de cada uma.

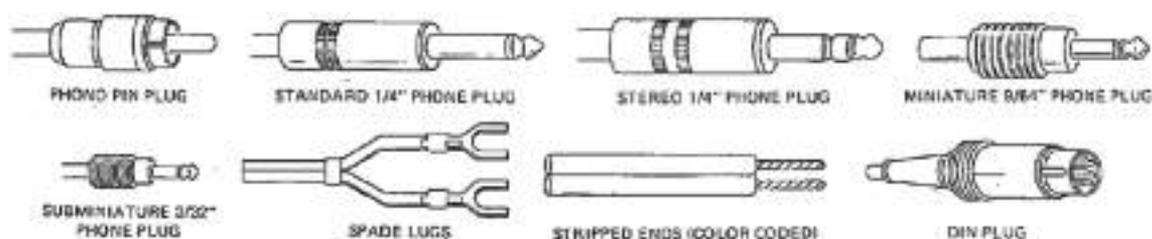


Figura 25 – Exemplos de ligadores de cabo áudio comuns, para sistemas stereo

Ficha phono (RCA) (1/8" de diâmetro): Normalmente utilizada em cabos áudio de nível baixo e em alguns cabos de altifalantes de baixa potência.

Ficha phono (1/4" de diâmetro): Muito forte, fácil de agarrar, normalmente utilizada em auscultadores e microfones de alta impedância.

Fichas phono Miniatura (9/64" de diâmetro) e Subminiatura (3/32" de diâmetro): Usadas em muitos sistemas modulares compactos para entradas de microfone e saídas de auriculares miniaturas. Muito comum em pequenos reprodutores de gravação de cassetes.

Terminais em forma de pá: Muito usada em terminais de cabos para altifalantes, especialmente em sistemas de alta potência de 100W ou mais.

Terminais sem Isolante: Geralmente, soldados-estanhados e muitas vezes utilizados em cabos de altifalante em sistemas de baixa potência.

Fichas (DIN) da Indústria Alemã: Muito comuns nos países Europeus há alguns anos atrás, para sinais de baixo nível, mas menos utilizados agora, em virtude da popularidade da ficha phono. Disponível com várias configurações de pinos.

Utilizando o cabo e condutor adequados ajudará a reduzir o ruído de interferência; contudo, a colocação destes cabos também é importante. O agrupamento de sinais indutivos ou capacitivos entre cabos de alto e baixo nível podem ocorrer quando os cabos estão muito juntos. Disponha os cabos áudio de nível baixo, provenientes especialmente do fonógrafo e microfones, de forma que não se cruzem ou passem junto de cabos de corrente 230V AC. Os cabos de alimentação AC, cabos de altifalantes e cabos de nível



baixo, devem estar nitidamente em locais separados, para reduzir a possibilidade de ruídos de interferência.

Muitos componentes stereo e a maioria dos equipamentos teste requerem um cabo de alimentação com fio de terra, para prevenir o choque e reduzem o ruído de interferência de 50Hz. No equipamento de teste, é normal existirem fichas de três pinos; mas em equipamento stereo muitas vezes uma ficha polarizada de dois pinos.

Os elos de terra podem ocorrer devido a uma ligação de terra incorreta, quando duas ou mais peças do equipamento áudio estiverem ligadas com cabos áudio, os quais são portadores de sinais de nível baixo. A Figura 26 mostra um exemplo de um elo de terra. Repare se cada peça do equipamento tem a sua própria terra em separado. A terra contém pequenos sinais fracos, que tomam a via da menor resistência e passam através das “terras” e malha de proteção do equipamento áudio. Dado que os sinais passam através dos elos de terra, induzem um pequeno sinal no condutor central do cabo de áudio. Os sinais induzidos são amplificados com os sinais de música e resultam em ruído de interferência. A interferência dos elos de terra pode ser muito reduzida, se as fontes de sinal e amplificadores partilharem uma única terra.

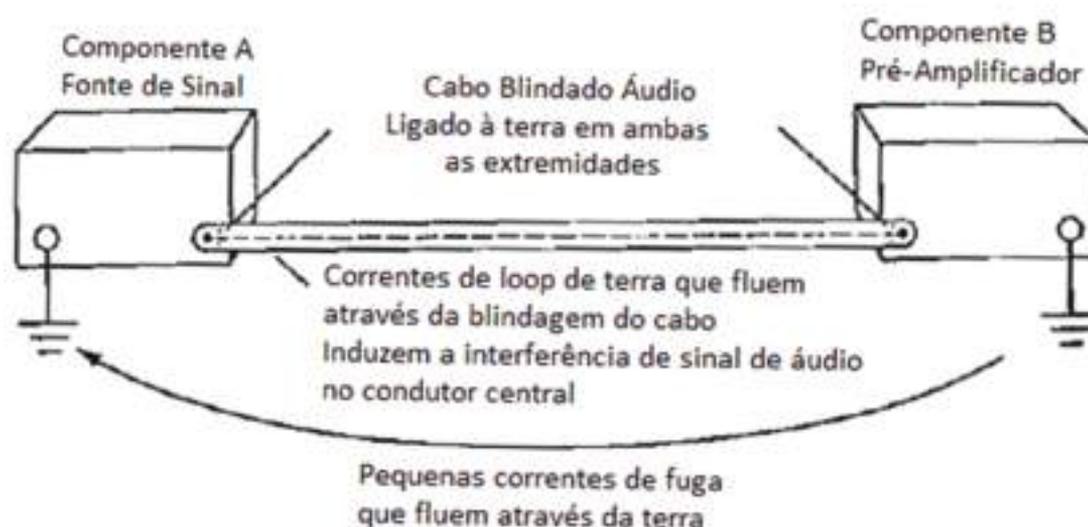


Figura 26 - Sinais de espectro elétrico na “terra” podem causar elos de terra, se forem utilizadas duas linhas de “terra” separadas para o equipamento áudio.

Para reduzir o ruído de interferência, os amplificadores stereo contêm geralmente duas ou mais saídas de 220V AC, as quais devem ser usadas para o sistema de gira-discos e

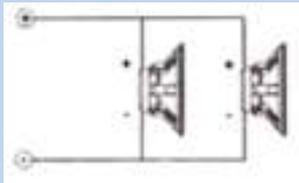
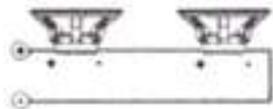


gravador. Não ligue as linhas de terra dum componente áudio para outro, exceto a linha de terra de ligação entre uma mesa giratória e amplificador ou caso tenha sido sugerido pelo fabricante. Os componentes stereo estarão devidamente ligados à terra, através das suas fichas e cabos polarizados, bem como através da malha de proteção dos cabos de ligação áudio.

Associação de Altifalantes

As possibilidades de associação podem ser resumidas nas configurações **Série e Paralela** e na combinação de ambas, Série-Paralela.

As associações podem ser feitas tanto eletricamente como acusticamente, conforme indica a figura 27.

ASSOCIAÇÃO ELÉCTRICA	CIRCUITO	ASSOCIAÇÃO ACÚSTICA	CONFIGURAÇÃO
ALTIFALANTES Paralelo Impedância = Z/n; Potência = $n * P_e$		Paralelo Eficiência = $n * N_o, F_s, Q_{ts},$ $2 + V_{as}$	
Série Impedância = Z/n; Potência = $n * P_e$		Série Push Pull Eficiência = $N_o/2, F_s, Q_{ts},$ $V_{as}/2$	



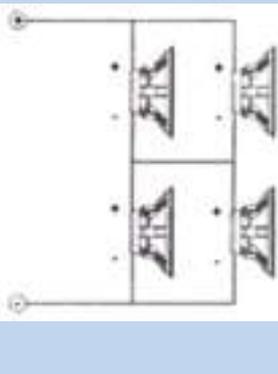
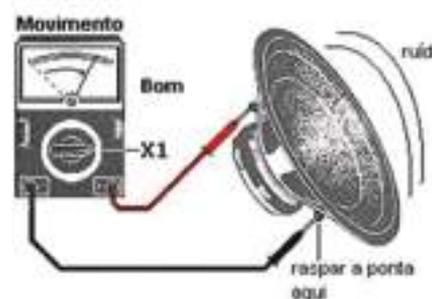
<p>Série - Paralelo Impedância = $Z(n=4)$; Potência = $4 * P_e$</p>		<p>Série Pull Pull Eficiência = $No/2, F_s, Q_{ts},$ $Vas/2$</p>	
<p>n = número de altifalantes; Pe=Potência elétrica; Z=impedância; Fs= Frequência Ressonância; Qts= Qualidade Total; Vas=Controlo Movimento Cone; No= Eficiência de referência.</p>			

Figura 27 – Associação de altifalantes.

Teste/análise de um altifalante com um multímetro

Com um multímetro pode-se medir a resistência da bobina e, em certos casos, provocar o movimento do cone do altifalante.

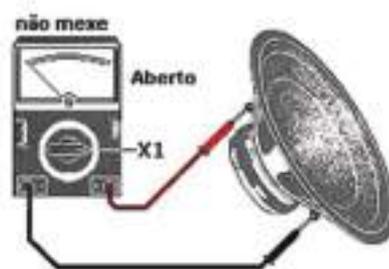
Se utilizar um multímetro analógico deve seleccionar a escala X1, colocando uma ponta de prova fixa num dos terminais do altifalante e com a outra ponta de prova raspa-se no outro terminal. O ponteiro deverá deslocar-se sobre a escala (indicando o valor da resistência da bobina) e deve ouvir-se um pequeno ruído produzido pelo movimento do cone do altifalante.



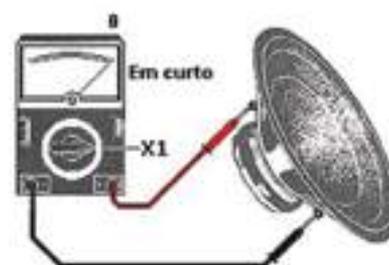
Se utilizar um multímetro digital ele indicará a resistência da bobina, mas o altifalante não produzirá ruído.



Se o ponteiro do multímetro analógico não mexer ($R = \infty$), o altifalante está aberto.



Se o ponteiro do multímetro analógico for a zero e não sair ruído, o altifalante está em curto.



Este teste não é 100% fiável. Às vezes a bobina do altifalante está boa, mas ele está com outro tipo de defeito como por exemplo o cone rasgado, o entreferro da bobina móvel está sujo, etc.



Perguntas de revisão sobre colunas de som e estereofonia

1. Os amplificadores stereo geralmente usam microfones de (baixa, alta) _____ impedância.
2. Os sinais de mesa-giratória são geralmente de _____ mV ou menos.
3. Os decks de gravação necessitam de limpeza ocasional e desmagnetização das _____, para o melhor funcionamento.
4. O _____ contém os circuitos de controlo principais para o sistema stereo.
5. Uma resistência de carga de altifalante fictício deve ser em carbono, não-indutiva, e de _____.
6. A maioria dos altifalantes são inferiores a _____ por cento de eficiência.
7. As tonalidades de teste podem danificar o altifalante, e assim, por uma questão de segurança, a potência de amplificação deve manter-se inferior a _____ da relação máxima rms do altifalante.
8. O ligador mais conhecido para cabos áudio de nível baixo é a ficha _____.
9. Porque é que as mesas-giratórias e os altifalantes devem estar colocados em prateleiras ou mesas separadas?
10. Qual a diferença entre um deck gira-discos e um reproduzidor de discos?
11. Porque é que os cabos áudio devem estar nitidamente afastados do cabo de alimentação?



Microfones

Introdução

Os microfones são simples transdutores, transformam energia acústica (som) em energia elétrica. O resultado desta transformação energética é medido pela sensibilidade, frequência de resposta, característica direcional de captação, ruído e distorção de microfone. Este resultado pode ser afetado por problemas diretamente relacionados com o microfone ou com o cabo áudio e ligadores. Os fabricantes utilizam muitas vezes equipamento de teste especial para verificar o funcionamento do microfone e os problemas. Um técnico de áudio, contudo, pode proceder à análise e localização da maioria dos problemas de microfone, com o equipamento de teste normal e a compreensão do funcionamento do microfone.

Quase todos os sons gravados começam com o uso de microfones tal como o que se mostra na Figura 28.

Embora o microfone possa parecer simples ao consumidor, o seu trabalho depende em grande parte da seleção exata, ligação e uso.

Um microfone transforma a energia acústica em energia mecânica e depois em energia elétrica. Durante a transformação de energia, alguns dos sinais áudio perdem-se, em resultado da ineficiência do sistema. A eficiência do microfone é uma parte importante do trabalho, mas é difícil de medir e assim, em vez disso, mede-se a sensibilidade dum microfone.

Sensibilidade

É a quantidade de tensão de sinal de saída produzido com 1 microbar (libar) (74dB SPL) a 1000Hz de sinal. A tensão de saída é muitas vezes listada em decibéis com referência a 1 volt e podem referir-se a dBV. Uma vez que as tensões de saída do microfone são muito inferiores a 1 Volt, os algarismos em decibéis serão negativos e normalmente cerca de $-56 \pm 3\text{dB}$.

Figura 28 - Um exemplo de um microfone moderno



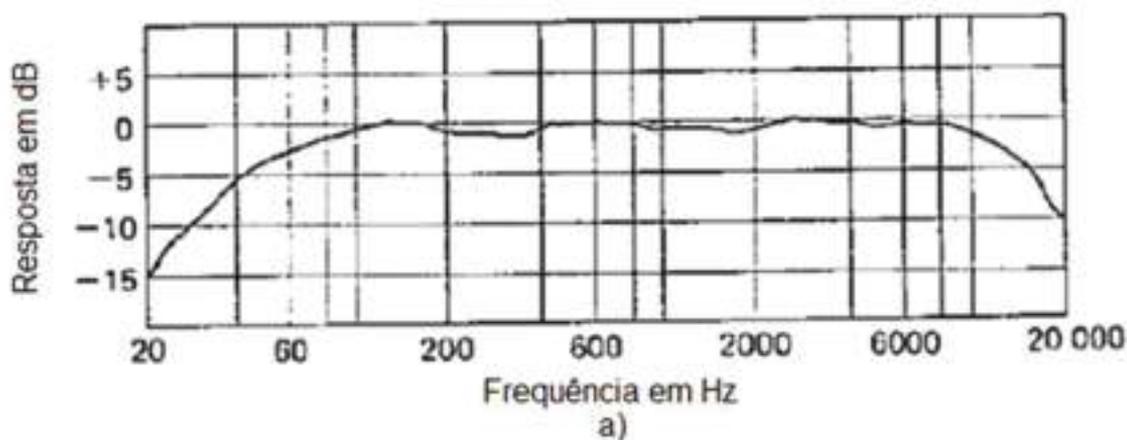
Estas tensões do sinal de saída são medidas com um tubo de vácuo ou voltímetro eletrônico e sem carga nos terminais do microfone.

Frequência de resposta

A frequência de resposta dum microfone é parte importante da sua eficiência. A frequência de resposta para microfones, como para a maioria do equipamento áudio, determina-se onde a potência de sinal cai de 3dB do seu nível médio. Muito poucos microfones são construídos para cobrirem a gama completa de audição de 20 a 20.000Hz, por causa dos limites mecânicos e elétricos. Por isso, a maioria dos microfones têm uma frequência de resposta de cerca de 50Hz a 15Kiloherz (kHz), que cobre a maioria dos sons musicais e voz.

As transformações no nível de sinal de saída dentro da gama da frequência de resposta são importantes para a aferição do microfone.

A Figura 29 mostra duas curvas de resposta de microfone, que têm igual gama de frequência, mas uma tem mais variações no nível de sinal de saída. A curva na Figura 29(a) é plana, dado que, na generalidade, varia menos que ± 1 dB, o que é considerado um bom trabalho. Mudanças bruscas no sinal de saída a várias frequências, como se mostra na Figura 29(b) pode dever-se à fraca qualidade ou à avaria num elemento. Se o sinal subir ou cair mais de 3dB na mesma gama de frequência, a esta situação chama-se “dropout”: A Figura 30 mostra-nos uma curva de resposta de um microfone com um “dropout” entre 1500 e 3000Hz.



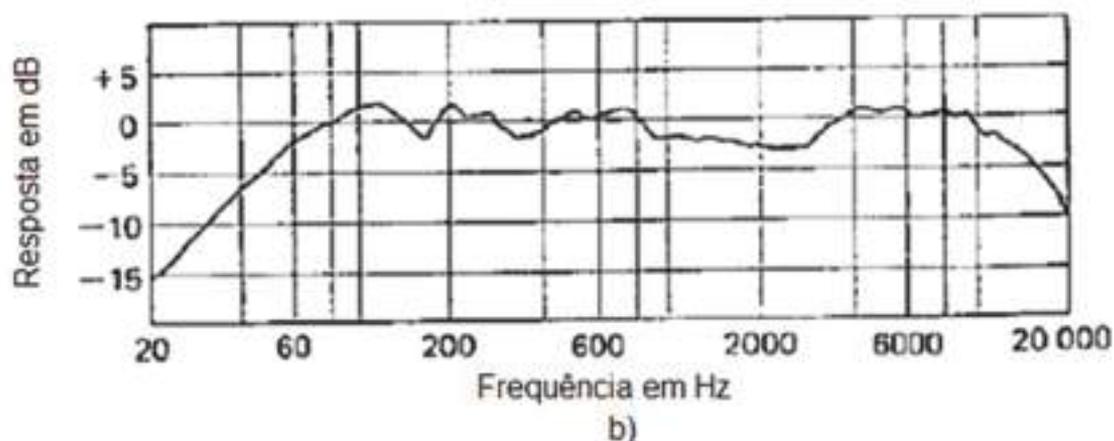


Figura 29 - A comparação de duas curvas de resposta, com gamas de frequência iguais.

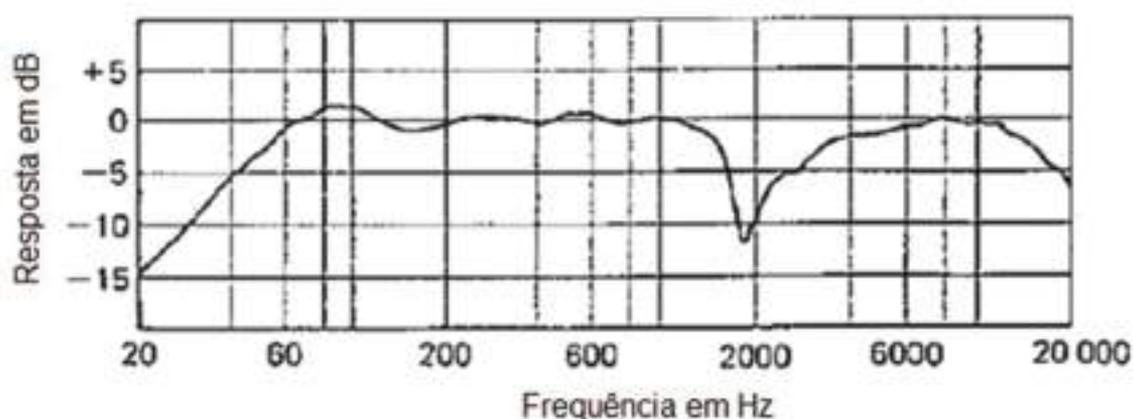


Figura 30 - Uma curva de resposta de frequência com um "dropout" entre 1500Hz e 3000Hz.

A característica direcional

A característica direcional dum microfone determina parcialmente o seu funcionamento e utilização. Até a característica direcional mais ténue é omnidirecional, como se mostra no diagrama da Figura 31. Note como a característica das ondas sonoras são praticamente iguais em todas as direções, a partir do microfone, incluindo do lado do suporte. Este tipo de microfone é muitas vezes utilizado para palestras e shows musicais, uma vez que é menos sensível aos ruídos provocados pelo vento e silvos de respiração, quando se pronunciam as letras "p", "t" ou "f". Além disso, este tipo de microfone pode ser usado por várias pessoas ao mesmo tempo, com igual som recebido, mesmo para aquelas pessoas que estão mais agrupadas dum lado do que doutro.



Outro exemplo de característica direcional muito comum é a do tipo cardioide. Este exemplo assemelha-se à forma dum coração, como se mostra na Figura 32.

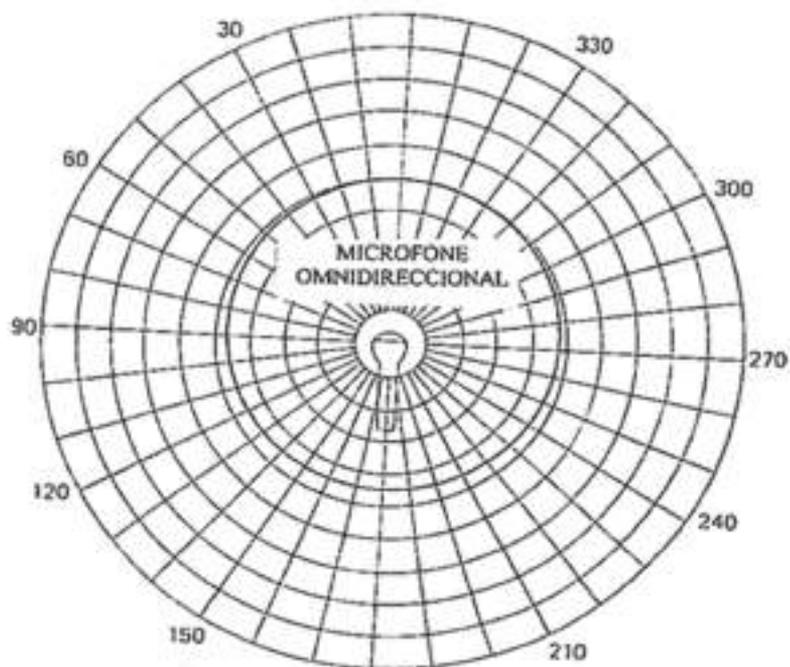


Figura 31 - Exemplo da característica direcional para um microfone omnidirecional.

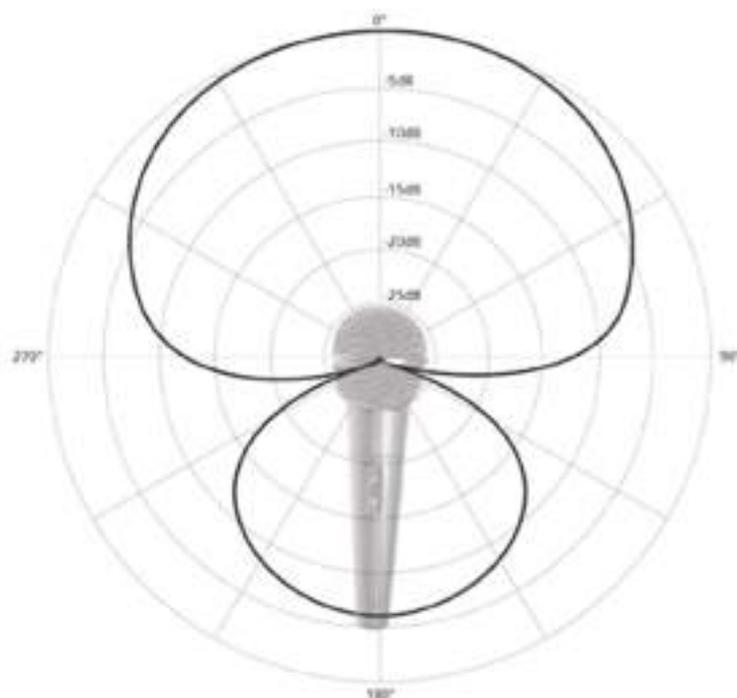


Figura 32 - Exemplo da característica para um microfone cardioide.

Fonte: Ver Bibliografia



Os microfones cardioides captam com maior eficácia os sons emitidos na sua frente. À medida que a fonte sonora se desloca do eixo central do microfone, sua sensibilidade é reduzida. Seu diagrama polar aproxima-se de um formato de coração.

Para finalizar, é apresentado na figura 33 um resumo das principais características dos microfones.



Figura 33 - Principais características dos microfones.

Fonte: Ver Bibliografia

Reparação de avarias em microfones- Parte I

Se verificar um micro, nunca coloque um verificador de bateria ou um ohmímetro normal nas ligações do microfone. A tensão de tais aparelhos de teste poderia danificar o elemento. Há dois processos simples que se aconselham, para verificar os elementos. A saída do microfone pode ser ligada a um osciloscópio e a tensão aproximada medida com uma tonalidade de 1000Hz a 74dB SPL no microfone. A tensão de saída deve ser cerca de 8mV pico-a-pico (p-p) ou mais, para a maioria dos microfones.

O elemento também pode ser testado, usando um ligador de saída de fase e um segundo micro do mesmo fabrico e modelo. Ocorrerá bloqueio elétrico, se dois microfones idênticos forem usados lado a lado, a distâncias equivalentes duma única fonte de som e os condutores de sinais tiverem sido ligados à saída de fase, como se mostra na Figura 34. Se dois microfones com duas saídas de fase forem ligados a um sistema de som, quase não deve haver som. Se houver som proveniente destes dois microfones, então um deles



não deve estar a funcionar devidamente, para bloquear o outro. Quando estiver a fazer este teste lembre-se que estes microfones devem ser do mesmo fabricante e modelo.

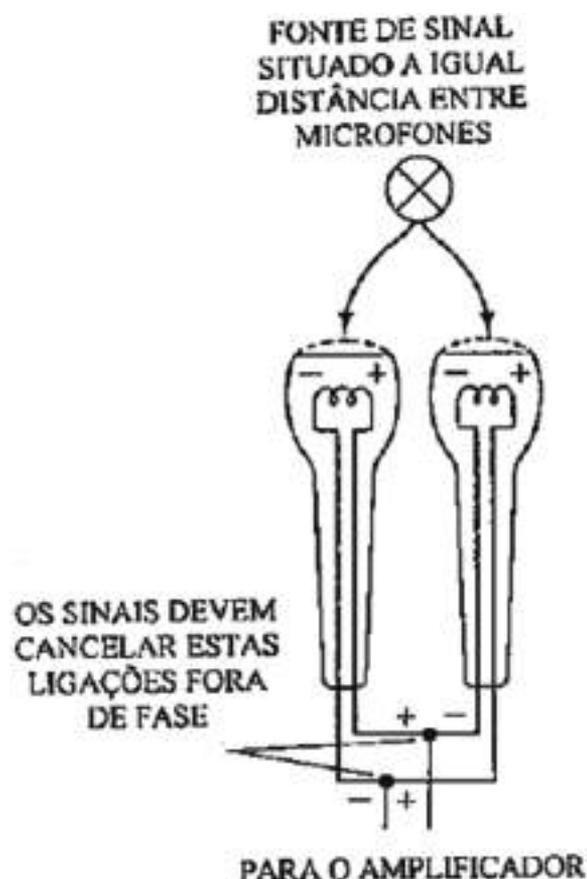


Figura 34 - Ligação de saída de fase utilizada para verificar o funcionamento do micro.

O íman no interior do elemento atrairá as partículas de ferro e prender-lhas-á no diafragma. As partículas podem produzir uma distorção ou mudança na frequência de resposta, por causa do peso extra.

Alguns elementos podem deteriorar-se, se alguém soprar na frente do micro ou tentar introduzir um objeto afiado através da rede protetora.

O pequeno e fino diafragma é muito delicado e pode danificar-se facilmente com objetos afiados ou grandes pressões de “golpes” de vento.

Se os elementos se danificarem, são de muito difícil reparação. Por isso, o elemento avariado deve ser substituído por um novo. Certifique-se da garantia do fabricante, antes de abrir a caixa. Alguns fabricantes rejeitarão a garantia, se alguém, exceto os seus próprios serviços de assistência, tentarem reparar o elemento ou quaisquer outras peças no interior da caixa.



Reparação de avarias em microfones- Parte II

Um dos problemas de microfone mais conhecidos é uma quebra de linha ou curto-circuito na ficha. Se uma linha de sinal se partir, não haverá som; mas se a linha de blindagem (terra) se partir, ouvir-se-á provavelmente um grande silvo de interferência. As linhas de sinal também podem ser curto-circuitadas devido a uma fraca ligação de solda ou a um fio solto. Os fios podem soltar-se se não forem devidamente preparados antes de soldar ou se se gastarem em resultado de serem torcidos e esticados. Uma inspeção visual do ligador, como se mostra na Figura 35 e a verificação da tensão com um osciloscópio ajudará a determinar se o cabo dum microfone tem alguma linha em curto-circuito, às vezes é boa ideia deslocar e dobrar o fio, durante essa busca, uma vez que a quebra ou curto-circuito pode ser intermitente, dependendo da posição do fio.

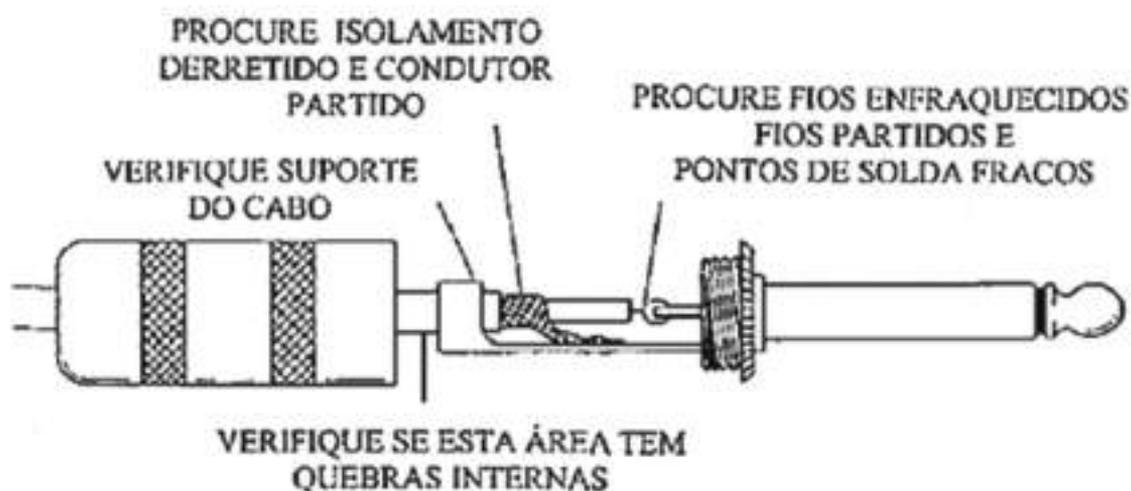


Figura 35 - Uma ficha de fone aberta para inspeção.

Lembre-se que não deve usar um VOM normal para medir a resistência do microfone, uma vez que a tensão do VOM pode danificar seriamente o elemento.

A boa gerência de microfones, cabos e circuitos amplificadores é importante para o bom funcionamento. Se um microfone de baixa impedância for ligado a uma entrada de alta impedância, o som será fraco, distorcido e pobre em frequência de resposta. Um transformador controlador-de-linha, como se mostra na Figura 36 pode ser utilizado para modificar a impedância do microfone de baixa para alta.





Figura 36 - Um exemplo padrão de transformador de controlo de alta-baixa impedância.

Fonte: <http://images.gear4music.pt/media/57709/600/preview.jpg>



Perguntas de revisão

1. A um aparelho, como um microfone, que transforma a energia de uma forma para outra chama-se _____.
2. Para microfones, a sensibilidade é medida a $1\mu\text{bar}$ de pressão, o que é equivalente a _____ dB SPL.
3. A maior parte dos microfones têm uma frequência de resposta de cerca de 50Hz a _____ kHz.
4. Uma resposta do microfone é considerada plana se variar menos que _____ dB.
5. O microfone _____ tem uma vibração quase igual em todas as direções.
6. O microfone cardioide tem uma gama de sensibilidade de cerca de _____ vezes maior que o microfone omnidirecional.
7. Um microfone utilizado a muito curta distância terá um efeito de proximidade que causará frequências muito (altas, médias, baixas) _____.
8. Um trabalho muito afastado do microfone provavelmente irá aumentar o problema de _____, dado que será necessário maior ganho de amplificação.



Pesquisa de Avarias

Fontes de Alimentação

A fonte de alimentação, para recetores modernos difere muito, dependendo do número e qualidade dos circuitos a serem abastecidos. O abastecimento de potência DC bem filtrada é importante para um circuito operativo estável e de baixo nível de ruído de interferência. A mesma fonte de alimentação é utilizada em ambos os canais do recetor, mas diafonia e interferência entre os canais, através da fonte de alimentação geralmente não constitui problema.

O design de circuitos especiais utilizando desacoplamento de díodos ou andares de baixa impedância, ajudam a manter o canal de separação em cerca de 50dB ou melhor. A fonte de alimentação inclui basicamente comutadores, tomadas AC, um transformador de potência, um retificador, circuitos de filtragem e um regulador de tensão. A Figura 37 mostra o diagrama de blocos duma fonte de alimentação normal.

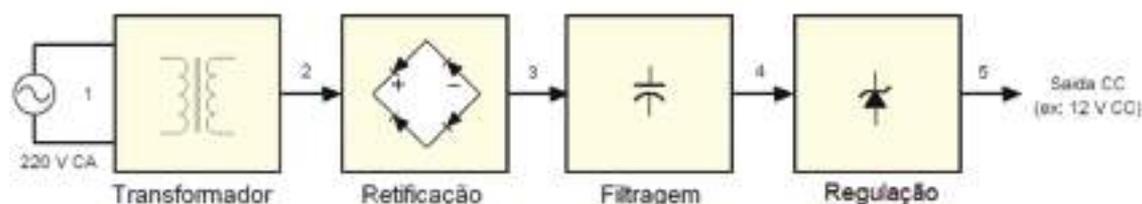


Figura 37 – Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação.

Circuito primário

O circuito primário, como se mostra na Figura 38 é alimentado a 230VAC no primário do transformador de potência. A tomada auxiliar Ai está ligada diretamente à rede e é utilizada normalmente para abastecer um deck de gravação. A segunda tomada auxiliar A2 está ligada a 220VAC, através do comutador da rede principal S1 e é muitas vezes utilizada para o gira-discos.

As tomadas de rede AC auxiliares não devem ser utilizadas para mais de 200watts cada.



O manual de serviço deve ser consultado quanto ao valor limite exato muitas vezes impresso nas tomadas auxiliares AC. A drenagem de uma tal capacidade de corrente pode causar o sobreaquecimento do cabo ou dos contactos do comutador no receptor para o arco proveniente do excesso de carga, quando se desliga o comutador. Embora a tomada de saída possa parecer uma boa ideia para comutar dois componentes ao mesmo tempo, pode causar problemas. Por exemplo, se um deck estiver desligado do amplificador, enquanto reproduz, o capstan pode permanecer encostado ao “pinch roller”. Esta pressão contínua do capstan pode causar uma marca na borracha do “pinch roller”, o que irá aumentar a distorção “flutter”.

O condensador C_1 e a resistência R_1 estão colocados através do comutador S_1 , para ajudar a reduzir o faiscar do contacto do comutador. Se ouvir uma ligeira explosão ao efetuar a comutação da corrente ON/OFF, o condensador pode estar avariado e deve ser verificado. Um condensador C_2 e resistência R_2 também são utilizadas em algumas fontes de alimentação para ligar uma das extremidades da linha AC ao chassis (terra). Esta linha de terra simples ajudará em grande parte a reduzir a interferência no amplificador.

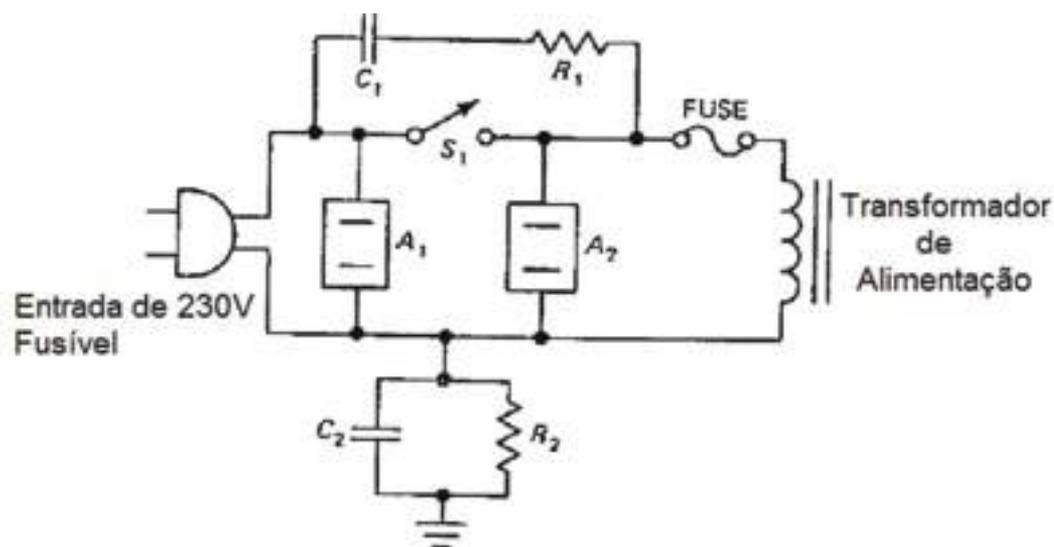


Figura 38 – O circuito primário de uma fonte de alimentação.

O fusível principal que o circuito apresenta está geralmente montado no exterior, por trás do chassis, pelo que facilmente pode ser mudado pelo consumidor. Sempre que prestar assistência a um amplificador, verifique o fusível principal para se assegurar da medida exata a ser utilizada e de que nenhuma folha metálica, fio, ou outro dispositivo está a ser utilizado como fusível.



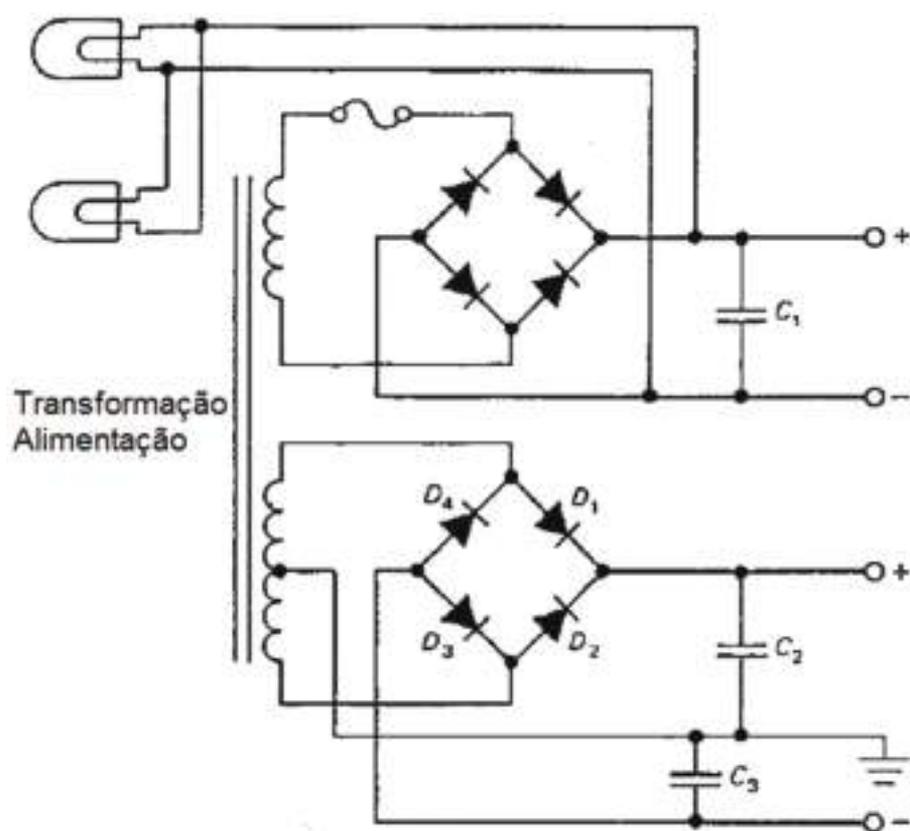


Figura 39 – O circuito primário duma fonte de alimentação.

Assegure-se de que está a utilizar componentes substitutos, que vêm no manual, quando mandar fusíveis, resistências-fusíveis e outros componentes em fontes de alimentação, porque alguns dos componentes são destinados a evitar o perigo de incêndio.

Alguns outros fusíveis mais pequenos podem estar localizados no interior da fonte, para proteger outros circuitos de ficarem danificados por sobrecarga, o que requer grande volume de corrente. A sobrecarga pode ser causada, por exemplo, recebendo um fluxo de corrente de alto nível proveniente duma fonte (250-mV), tal como um deck de gravador, para uma entrada de baixo-nível (5-mV) para o gira-discos.

Circuito secundário

O circuito secundário inclui o transformador de potência, retificadores, condensadores de filtragem, como se mostra no diagrama esquemático na Figura 40. O transformador de potência reduz a tensão para os níveis baixos necessários para os circuitos da unidade monobloco e isola o chassis da linha de rede principal. A colocação do transformador



de corrente, como se mostra na Figura 40, é fundamental para baixar a interferência da corrente AC 50 Hz.

Existem no mercado transformadores para troca, mas seria mais acertado se a peça fosse trocada pelo próprio fabricante. O transformador deve ser colocado exatamente como se fosse instalado pelo fabricante. Se o transformador não for colocado exatamente no seu lugar, haverá um apreciável aumento no ruído de 50 Hz, no sinal de áudio.

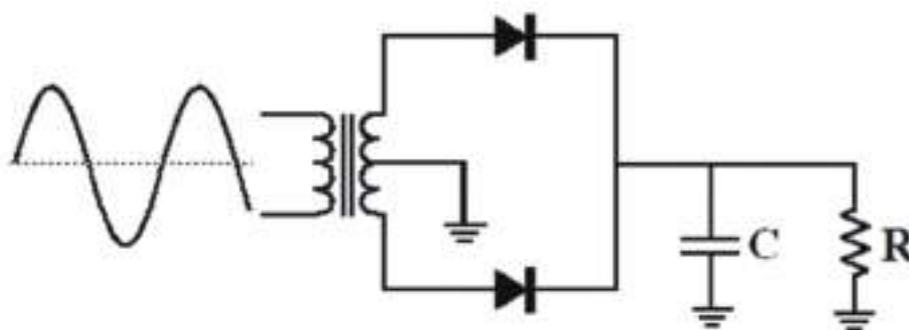
A secção retificadora do circuito utiliza um retificador de ondas completas, com ponto intermédio ou retificador de ligação de onda completa, como se mostra na Figura 41 (a) e (b). O retificador de onda completa necessita de uma tomada central a partir do transformador e utiliza apenas dois díodos para retificação da tensão AC.

Estes retificadores têm larga aplicação, sempre que não haja necessidade de manter a tensão estritamente constante, como é o caso das lâmpadas piloto, ou o controlo de solenoides.



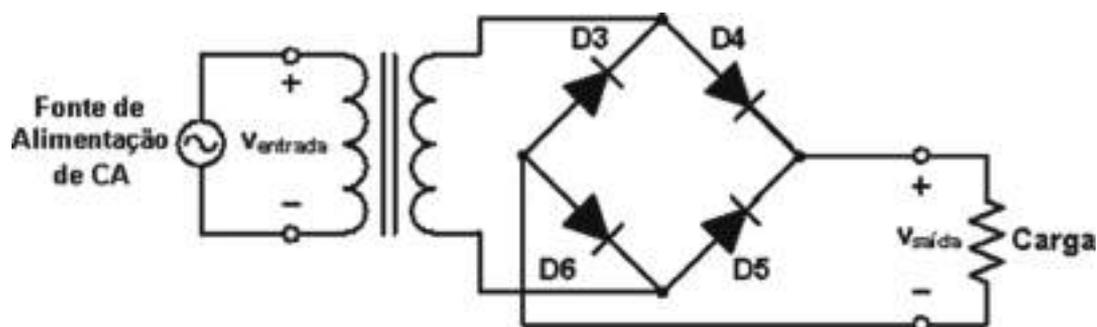
Figura 40 – Transformador de uma fonte de alimentação blindado.

Fonte: Ver bibliografia



(a) Retificador onda completa com 2 díodos. Fonte: Ver bibliografia





(a) Retificador onda completa com 4 díodos

Fonte: Ver bibliografia

Figura 41 – Exemplo de dois circuitos retificadores normais.

O retificador de ligação de onda completa não necessita de ponto intermédio, a partir do transformador; contudo, são necessários quatro díodos para o circuito. Este retificador utiliza toda a corrente dos circuitos do transformador, durante cada ciclo AC, o que resulta em alta eficiência e uma boa regulação de tensão. Este modelo de retificador é vulgar em amplificadores e recetores de fontes de alimentação. As lâmpadas piloto podem ser acionadas a partir da fonte de alimentação de baixa tensão DC ou de uma faixa separada de baixa tensão, no transformador de corrente.

A filtragem da tensão retificada é necessária para retirar a pequena ondulação residual. Geralmente, os filtros das fontes de alimentação utilizam tanto os condensadores eletrolíticos na saída DC, Figura 42, como um circuito de filtragem transistorizado.

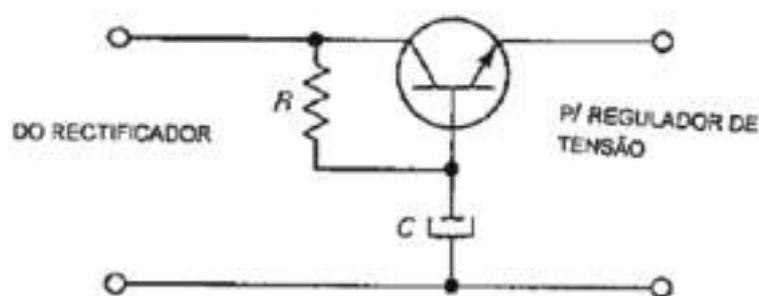


Figura 42 – Um circuito de filtragem transistorizado.

A medida dos condensadores depende da corrente de consumo; contudo, a maior parte dos condensadores são de 1500µF ou mais. Após vários anos de uso pode tornar-se deficiente e necessitar ser substituído. Se o ruído se tornar um problema, os



condensadores de filtro devem ser verificados. Os circuitos de filtro, que a Figura 42 mostra, utiliza um transistor para aumentar o efeito do condensador C_i . O circuito forma um seguidor de emissor e assim a impedância da saída da fonte de alimentação será baixa.

Regulação da tensão

A tensão de saída da fonte de alimentação pode ser regulada pelos díodos do zéner ou um circuito estabilizador de tensão. Os reguladores de diodo zéner são geralmente utilizados apenas para circuitos de baixos requisitos de corrente. A figura 43 apresenta um circuito esquemático dum circuito de tensão constante transistorizado. O circuito de controlo corrige as alterações tanto da fonte de alimentação como da carga, para fornecer uma saída de tensão constante. Quando a tensão de entrada ou a carga de saída alterar, um sinal proveniente do amplificador de erro Q_2 , conduz a base do transistor de controlo Q_1 , que corrigirá a alteração da tensão e proporcionará uma saída estável.

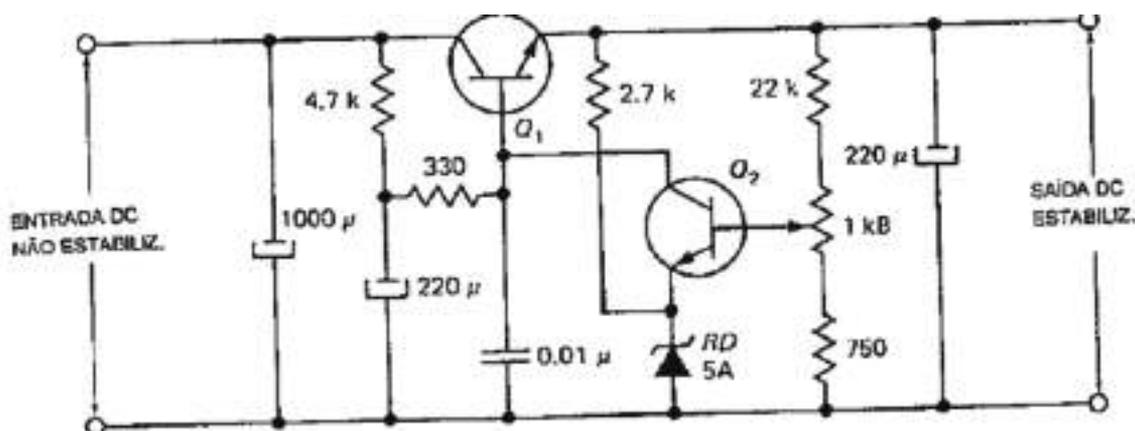


Figura 43 – Andar de controlo duma tensão constante transistorizado
(Cortesia de AKAI).



Perguntas de revisão

1. Se os transformadores da fonte não forem montados corretamente, pode surgir um Ruído _____.
2. O fusível principal está montado na _____ do chassis do amplificador.
3. Os circuitos de filtragem utilizam muitas vezes grandes _____ para reduzir a ondulação residual de tensão.
4. Um zumbido de interferência pode ser causado por um _____ deficiente.
5. A separação do canal de diafonia, através da fonte de alimentação deve ser _____ dB ou melhor.
6. Se houver demasiada carga nas tomadas AC auxiliares, o cabo ou o _____ podem ficar com problemas.
7. Enquanto presta assistência a um amplificador, deve verificar sempre o _____ para se assegurar de que a peça a substituir é a correta.
8. Os díodos _____ são muitas vezes utilizados num circuito de controlo de tensão.



Pré-Amplificadores

Os pré-amplificadores da fonte e pré-amplificadores de controlo são comuns a todos os sistemas estéreo. Os pré-amplificadores da fonte são muitas vezes utilizados em decks de gravação e sintonizadores AM/FM, para equalizar o sinal e também melhorar a relação S/N é aumentado o nível de sinais fracos antes de serem transferidos através dos cabos áudio, para tornar os sinais muito mais fortes que o ruído de interferência captado pelos cabos áudio.

O principal pré-amplificador de controlo desempenha três funções principais: equalizar os sinais de entrada de phono para frequência de resposta plana, para amplificar os sinais áudio de baixo nível, e servirem como centro de controlo de som. Os circuitos utilizados no pré-amplificador estão documentados no diagrama de blocos na Figura 44. Um diagrama esquemático característico, também está documentado na Figura 45, para ajudar a compreender a operação de cada circuito.

Os sinais de entrada, provenientes das fontes são geralmente muito fracos, tendo apenas alguns milivolts. Estes sinais devem ser amplificados muitas centenas de vezes, para se tornarem suficientemente fortes para acionarem o amplificador de corrente principal.

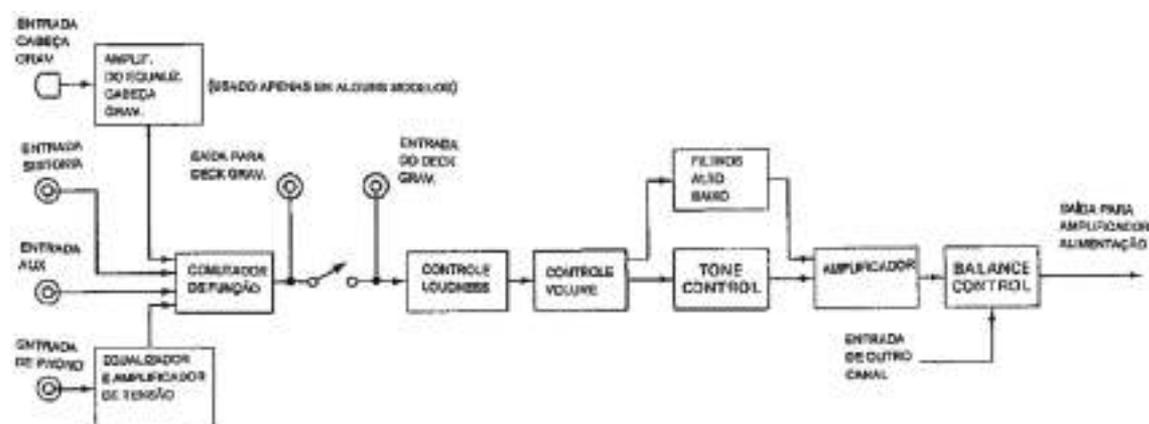


Figura 44 – Bloco de circuitos de pré-amplificação.



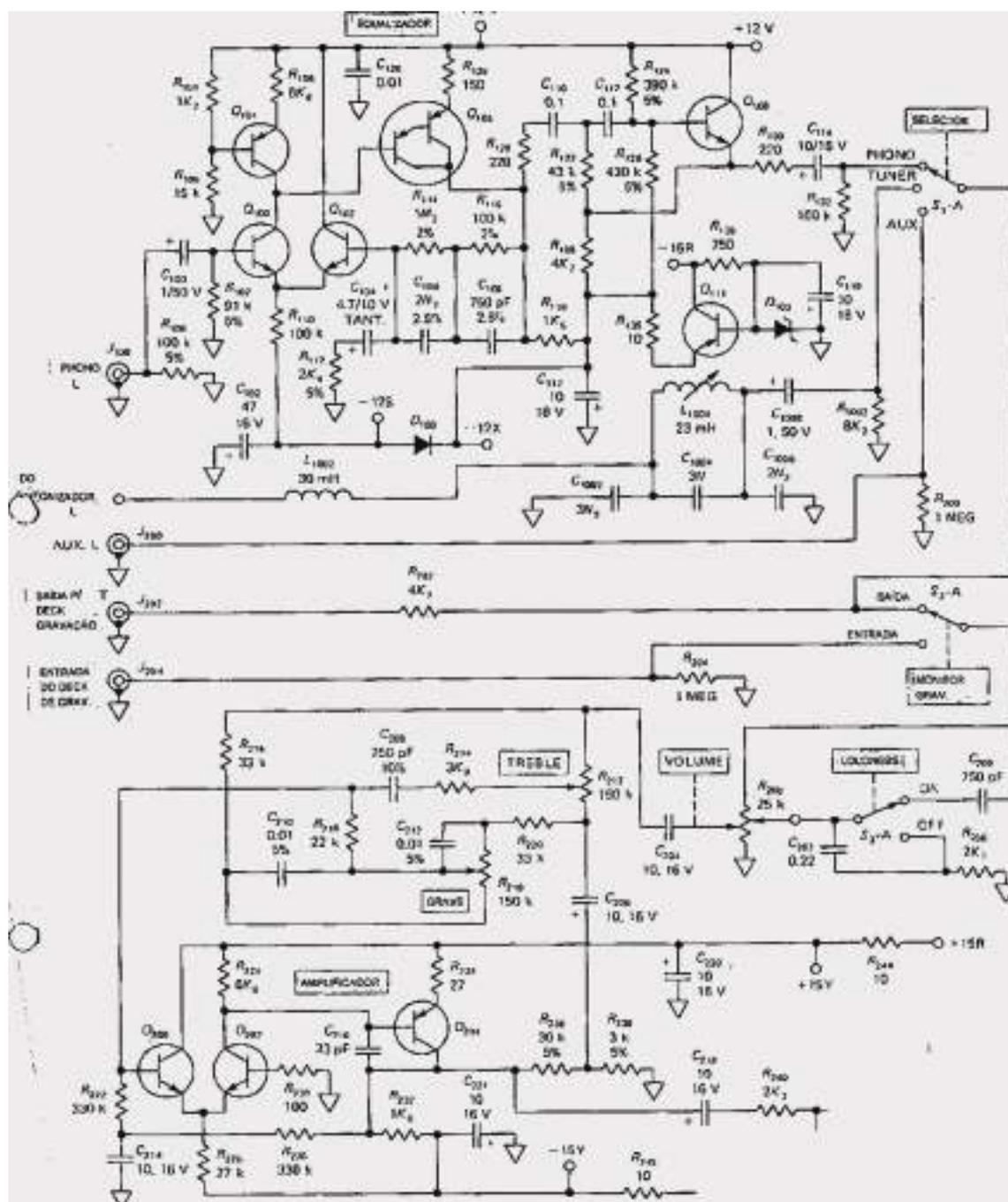


Figura 45 – Diagrama esquemático dos circuitos do pré-amplificador (Cortesia de Advent).

Circuito Equalizador

O circuito equalizador corrige a frequência de resposta do sinal de entrada, bem como amplifica o sinal. Ambos os sinais de entrada “phono” e “tape” necessitam de equalização, porque foram gravados com a frequência de resposta que não é plana.



Os sinais de baixa frequência são reduzidos para -18dB ou mais, enquanto as altas frequências são elevadas para 16 dB ou mais. A Record Industry Association of America (RIAA) standardizou o seu processo de gravação.

Durante a reprodução, o circuito de equalização no pré-amplificador amplifica as baixas frequências e reduz as altas frequências, para produzir uma frequência de resposta plana, como se pode ver pela linha central na Figura 46. Quando se reduzem as altas frequências, os ruídos de alta frequência causados pelos defeitos de gravação e sujidade são reduzidos e a relação S/N permanece muito boa.

As cabeças de gravação também requerem um circuito de equalização, porque a fita não grava altas frequências, bem como baixas frequências, em resultado de saturação.

O circuito de equalização utiliza geralmente um amplificador de dois estágios, como se pode ver na Figura 48. Os transístores utilizados neste circuito têm alta eficiência com muito pouco ruído. Um sinal de feedback proveniente do Q2 passa através do elemento equalizador e é aplicado ao emissor de Q1. O elemento equalizador foi particularmente concebido para produzir as variações da frequência de resposta no sinal de feedback, que controla a resposta do sinal de saída.

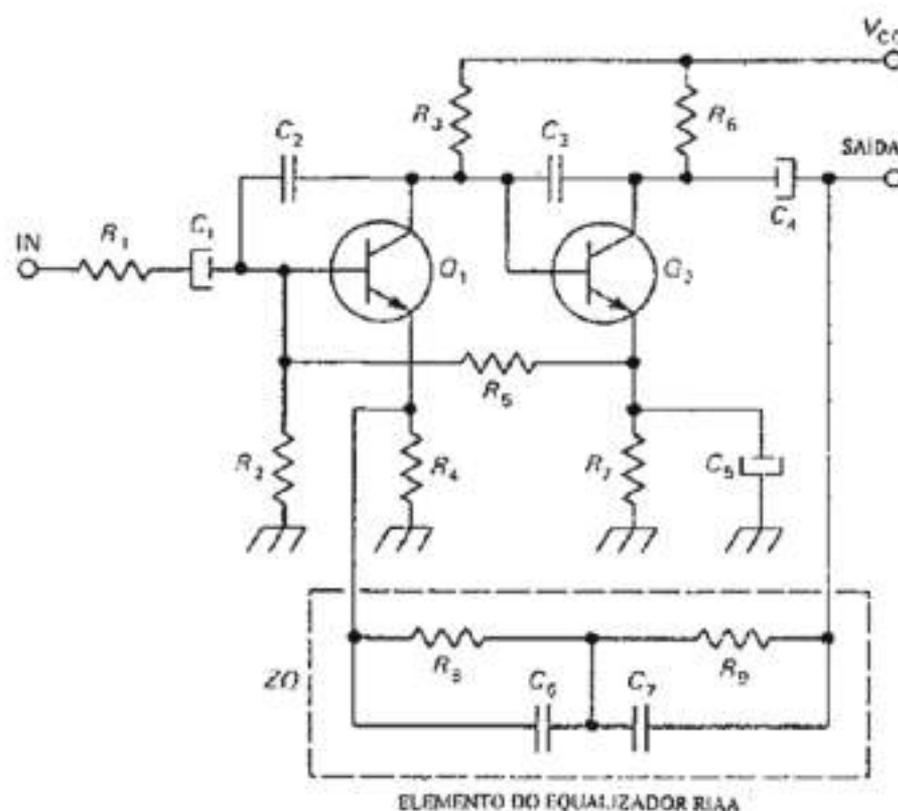


Figura 46 – Um circuito equalizador simples (Cortesia de AKAI).



A resistência R9 e o condensador C7 são utilizadas para reduzir o sinal de alta frequência, enquanto Re e Ce são utilizados para aumentar o sinal de baixa frequência de cerca de 6dB, por oitava. Se o sistema de Equalização se tornar distorcido, um condensador deficiente pode estar na origem do problema.

Controlo dos circuitos do amplificador

O amplificador de controlo aumenta a tensão de sinal do equalizador, deck de cassetes, sintonizador ou outra entrada de cerca de 10 a 20 dB. Os sinais de entrada provenientes do comutador de funções são geralmente de 100mV e devem ser aumentados para cerca de 0.4 a 1 V, para conduzir o amplificador de corrente principal.

O controlo de circuitos também ajusta a frequência de resposta do sinal. Os engenheiros criaram quase todos os outros módulos do sistema estéreo, para obter uma frequência de resposta de boa qualidade, mas o controlo de circuitos podem mudar a frequência de resposta. A frequência de resposta do som deve, por vezes, ser ajustada para corrigir o ruído, audição fraca, ressonâncias de sala ou localização do altifalante. Os circuitos de controlo têm ajustes de volume, sintonia, altura, filtros, e balanço de canal, como se mostra pelo diagrama de blocos da Figura 44. O pré-amplificador, por isso, permite ao utente efetuar pequenas alterações no som, para melhorar acima de tudo a sua qualidade.

Controlo de “Loudness”

O controlo de “loudness” utiliza-se para ajudar a corrigir a baixa sensibilidade de audição, a frequências muito baixas e muito altas. Têm sido feitas muitas experiências para determinar os níveis de intensidade dum som necessário à Equalização de “loudness” em todas as áudio-frequências. As curvas Fletcher-Munson, descritas no Capítulo I representam os resultados destas experiências. A International Standards Organization (ISO) muito recentemente efetuou testes de audição e desenvolveu cartas, como se mostra na Figura 47, as quais são ligeiramente mais corretas que as primeiras. Repare em como a resposta de áudio se torna mais regular, à medida que a intensidade do som aumenta para cerca de 100dB. Repare igualmente como um som que é de 40dB



a 1000Hz necessita de mais 20 dB de intensidade, para parecer igual a 30Hz. Em geral, as baixas-frequências e algumas altas-frequências não serão ouvidas a níveis baixos de audição, a menos que a sua intensidade seja aumentada. Os circuitos de "loudness" são por isso utilizados para ajustar a intensidade da frequência de resposta à nossa capacidade auditiva.

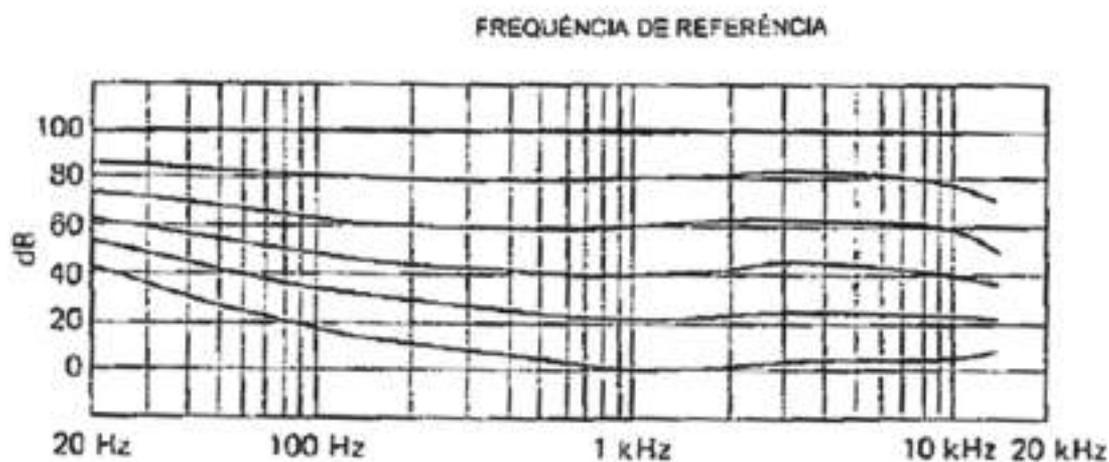


Figura 46 – Gráficos ISO sensibilidade da Equalização da audição (semelhante aos gráficos Fletcher-Munson).

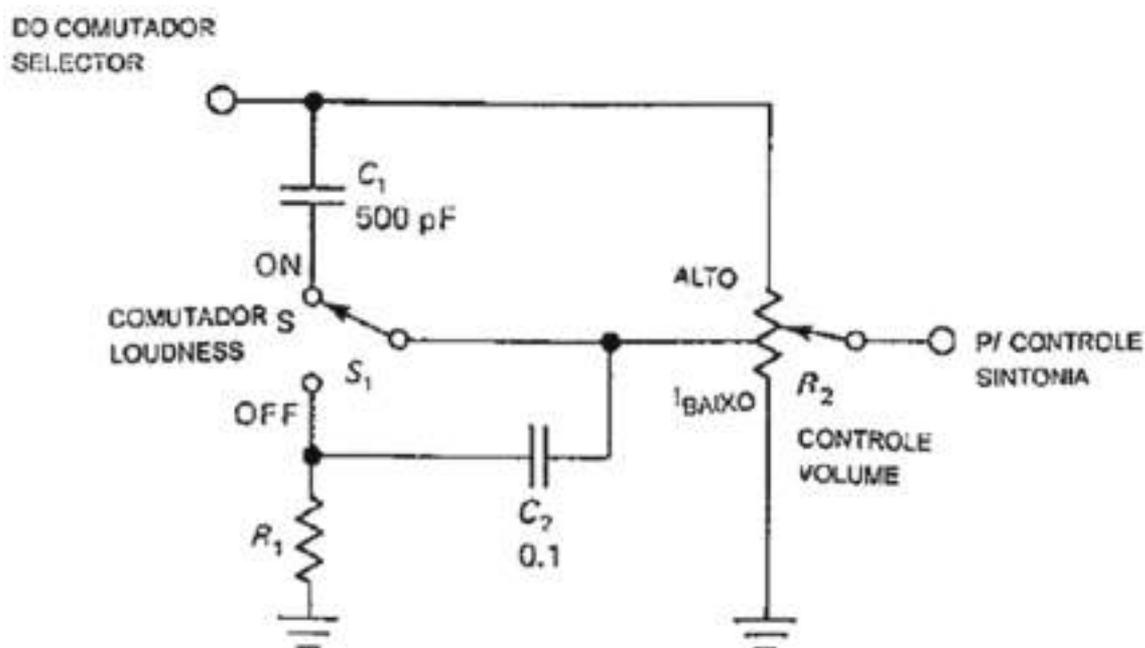


Figura 47 – Um circuito de controlo da altura do som.



O circuito de “loudness” foi concebido para aumentar o volume das baixas (e por vezes das altas) frequências, de forma que o volume de loudness controle uma tonalidade de 1000Hz. Nem todos os pré-amplificadores utilizam circuito de “loudness” de alta frequência, porque alguns fabricantes acham que o controlo dos agudos pode proporcionar a intensidade da alta frequência necessária. Alguns amplificadores modulares baratos também não utilizam o “loudness” de baixas frequências, para manterem o baixo custo de produção.

A Figura 47 mostra um circuito de “loudness” normal; as médias frequências são reduzidas ao máximo, como se mostra na Figura 48, por C2 e Ri. Em alto volume, todas as frequências são reduzidas ao mesmo valor por R2 e o controlo de “loudness” é automaticamente ultrapassado.

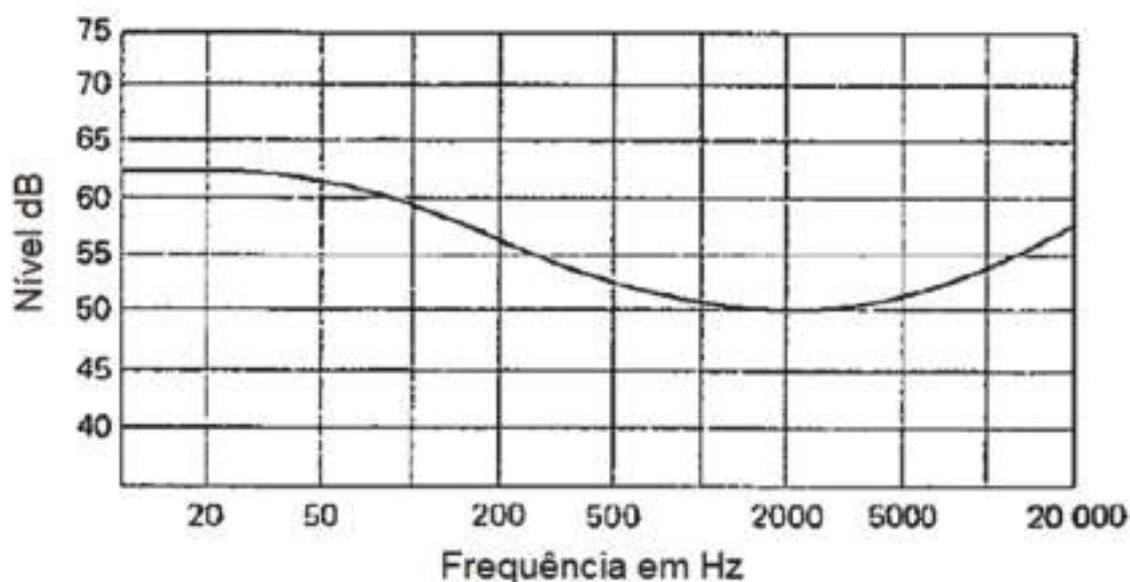


Figura 48 – Resposta do circuito “loudness”.

Controlo de Volume

As resistências variáveis são geralmente utilizadas para controlar o volume de som, como se mostra na Figura 47. Contudo, em algumas unidades de alta qualidade, podem ser utilizados atenuadores passo-a-passo. Os controlos de volume esquerdo e direito são geralmente intercomutáveis por conveniência, ajustando o nível do som de balanço. O controlo de volume pode ser do tipo eixo simples, como se mostra na Figura 49 (a).



Este tipo de controlo requer um controlo de balanço em separado, para ajuste do balanço de saída entre canais. A Figura 49 (b) mostra um controlo de volume de eixo duplo, para que cada canal possa ser ajustado em separado, se assim o desejar. Os dois eixos do controlo de eixo duplo são geralmente intercomutados por uma ligeira fricção de luz, pelo que normalmente se movem em conjunto.

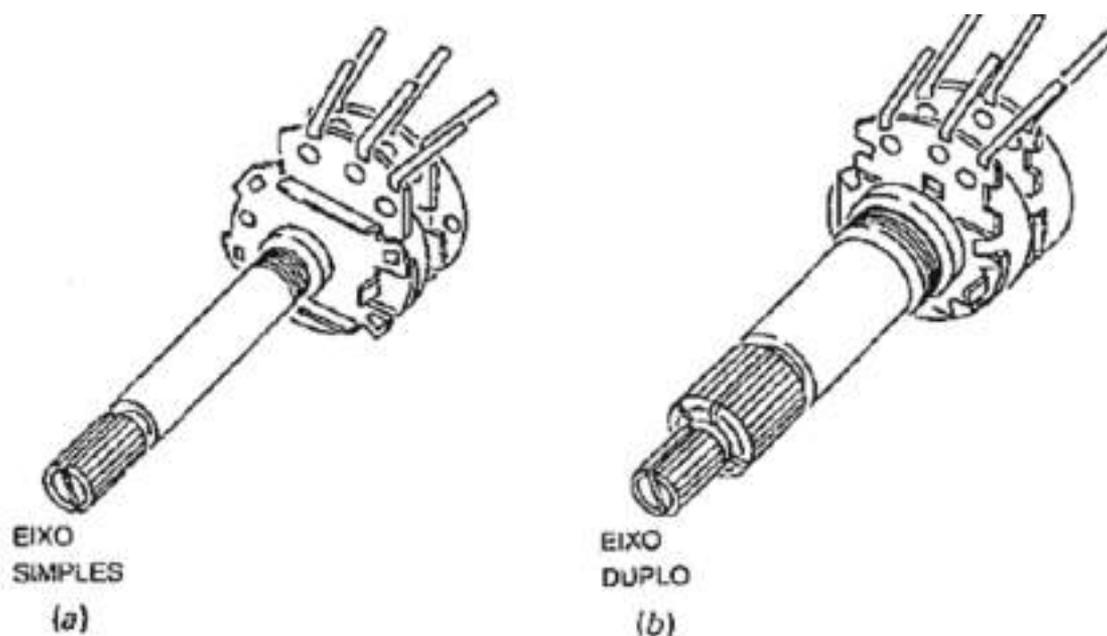


Figura 49 - Exemplo de dois modelos de controlos de volume.

Controlo de tonalidade

O controlo de volume era destinado a modificar a frequência de resposta de baixo nível para gerir a capacidade audição média. Os controlos de tonalidade destinam-se a permitir ao utilizador fazer a separação dos ajustes de nível em graves, médios e sons agudos para corrigir os limites de resposta e problemas de ressonância da sala, ou para agradar a gostos pessoais.

Os circuitos CR e NFB são os dois modelos principais de circuitos de controlo de tonalidade utilizados em pré-amplificadores. O circuito CR pode ser utilizado tanto antes como depois do sinal ter sido ampliado. A Figura 50 mostra-nos um esquema dum circuito CR normal para controlo de tonalidade.



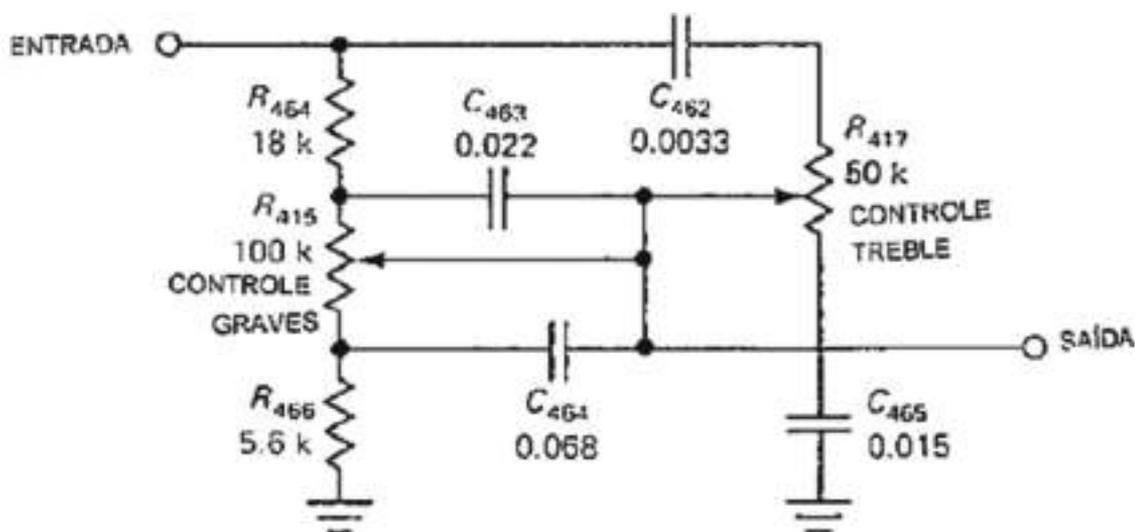


Figura 50 - Circuito de controlo de tonalidade CR.

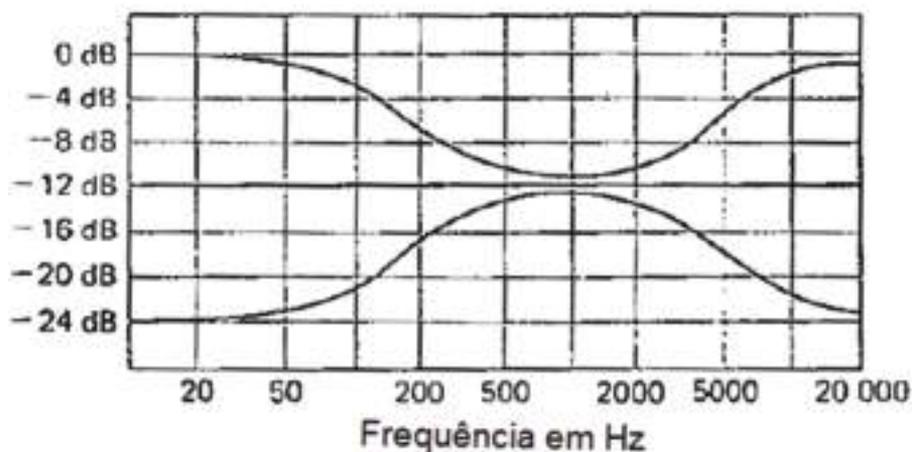


Figura 51 - Resposta do controlo de tonalidade.

Existe uma perda de inserção de referência de cerca de 12 dB, para as frequências médias, mas a perda de inserção das altas e baixas frequências, podem variar de 0 a 24dB. O gráfico na Figura 51 mostra-nos os resultados da frequência de resposta deste controlo de tonalidade CR, com ajuste máximo, médio e mínimo.

O circuito de controlo de tonalidade NFB utiliza feedback negativo dum amplificador, para controlar a perda de inserção. A Figura 52 mostra o circuito NFB. O feedback negativo é introduzido no circuito e normalmente reduz as frequências de gama média de 12 D.B. As frequências baixas e agudas são controladas pelo V_{R1} e V_{R2} e podem ser reduzidas pelo feedback negativo de 0 a 24 dB, dependendo do ajuste de controlo. A vantagem



do controlo de tonalidade NFB é uma melhor relação S/R do que a que existe disponível com o controlo do modelo CR.

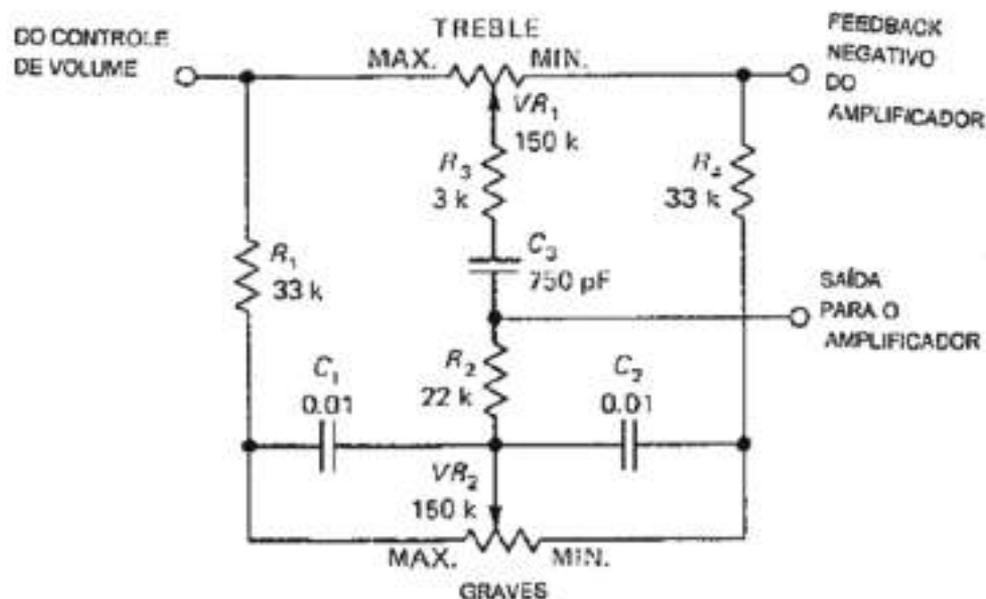


Figura 52 - Um circuito controlador da tonalidade NB.

Filtros

Os circuitos de filtro são muitas vezes utilizados no pré-amplificador para retirar o ruído de baixas frequências ou altas frequências. Um filtro de baixa frequência retira o ruído causado pela deformação do disco, ruído do sistema e feedback acústico.

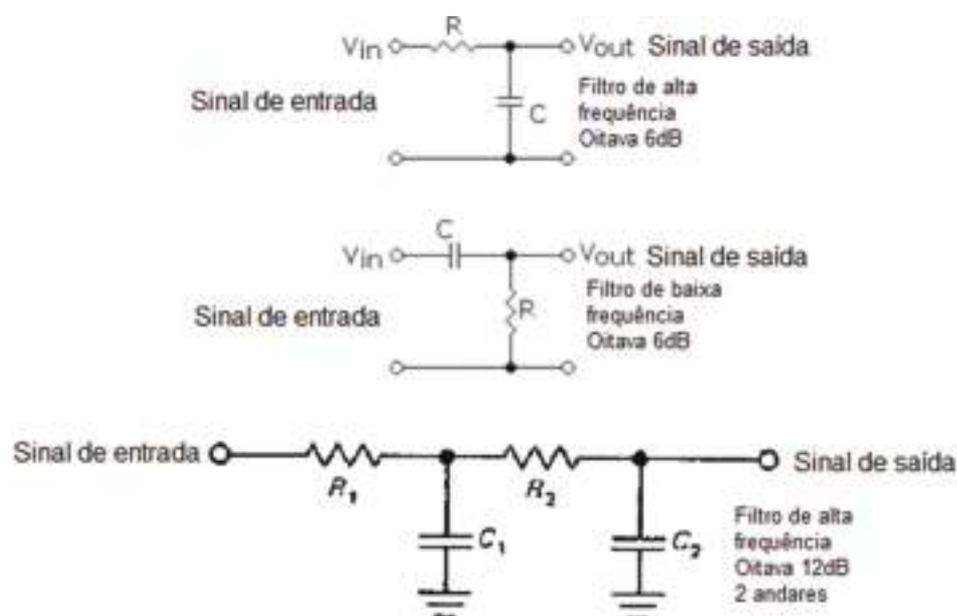


Figura 53 -
Circuitos do
filtro CR.



Um filtro de alta-frequência retira o ruído dos discos sujos ou arranhados, silvo de gravação e ruído de AM ou FM. Para evitar uma séria perda de frequência de resposta, utiliza-se um filtro de corte mais abrupto, que condicionará o nível de som em cerca de 12 dB por oitava.

A maior parte dos filtros utilizam o circuito CR devido ao seu design, como se mostra na Figura 53. A reactância do condensador C_i no filtro de baixa-frequência, permite que as baixas frequências sejam bloqueadas, mas permite a passagem das médias e altas frequências. A resistência R_1 no filtro de alta frequência permitirá a passagem de todas as frequências, mas as altas frequências serão enviadas para terra, através do condensador C_i . A interação da resistência e do condensador fornece ao circuito uma redução de sinal de 6 dB por oitava, dentro da gama de frequência do filtro. Pela combinação de dois estágios de filtragem, a relação de redução de sinal pode ser aumentada para 12 dB, por oitava.

Alguns filtros utilizam “feedback” negativo a partir do circuito amplificador de controle, como se mostra na Figura 54, para ajudar a controlar a relação de redução do sinal e capacidade da frequência de corte.

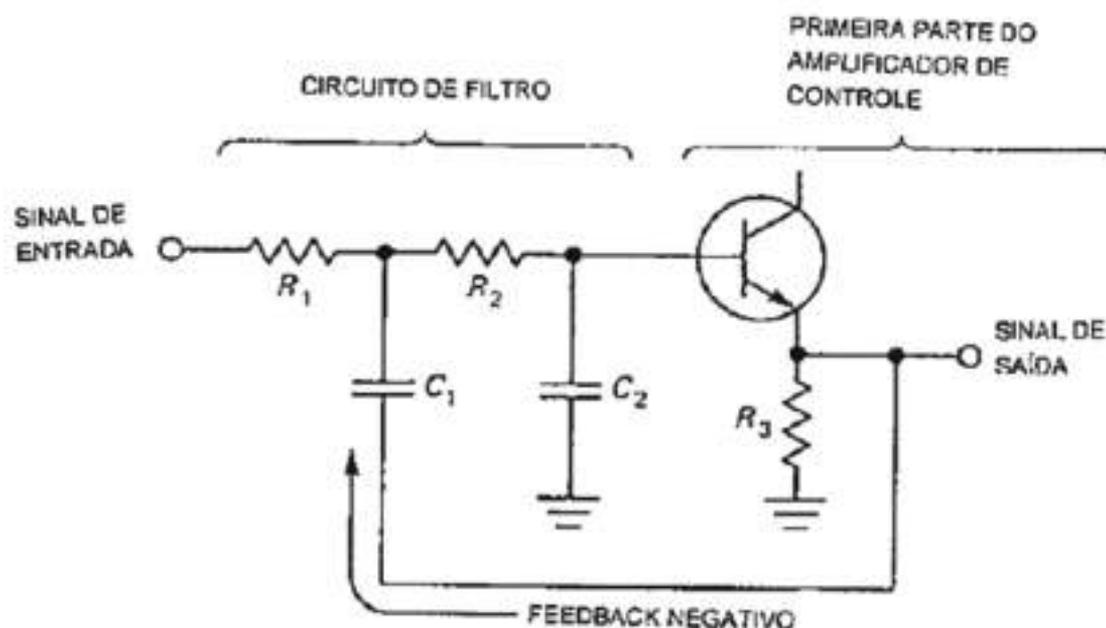


Figura 54 - Um circuito de filtro NFB.

A vantagem principal do filtro NFB é uma onda mais abrupta na frequência de corte, onde o sinal caiu 3 dB abaixo do nível do sinal médio para frequências de gama média.



A Figura 55 mostra uma frequência de resposta normal, utilizando 12 dB por cada filtro de oitava. Repare como o filtro de baixos reduz o sinal a uma muito baixa frequência e a uma queda mais abrupta que o controlo de tonalidade. Embora os filtros anulem alguns dos ruídos de sinal, anulam igualmente parte do sinal; mas para uma melhor qualidade, não devem ser utilizados, a menos que haja um problema sério de ruído.

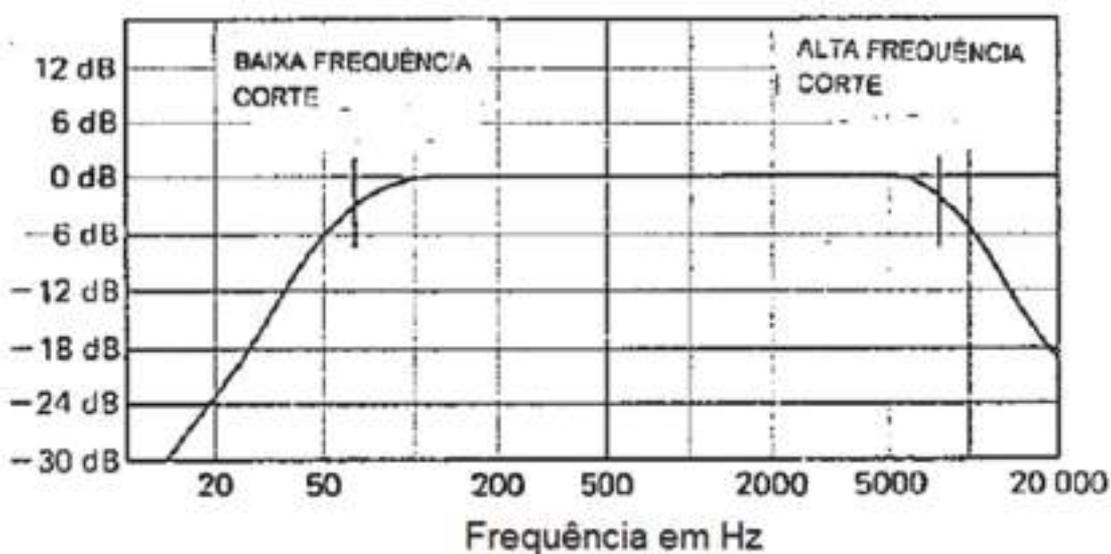


Figura 55 - Circuito de resposta de filtro de 12 dB por oitava.

Controlo de balanço

O controlo de balanço é usado em todos os pré-amplificadores stereo, para corrigir diferenças do volume de som entre os canais da esquerda e da direita. O controlo mais simples utiliza apenas uma resistência variável, como se mostra na Figura 56 (a). Este modelo de controlo é muitas vezes utilizado em pré-amplificadores mais simples e baratos. Quando o reóstato está situado na posição central há uma perda de inserção no sinal de 3 dB em cada canal. Quando o reóstato se move para um ou outro lado da resistência, um dos canais tornar-se-á cerca de 3 dB mais alto e o outro canal ficará reduzido a um nível muito baixo ou zero. O controlo de resposta aparece junto ao circuito. Um pequeno problema com este tipo de controlo é a interferência de diafonia entre os canais. O controlo de potenciómetro duplo variável, como se mostra na Figura 56 (b), quase não tem perda de inserção para um canal no máximo à esquerda ou no máximo à direita, mas tem uma perda de inserção de 6 dB, para uma saída de canais em igualdade



de volume. Este tipo de controlo de balanço é comum em muitos pré-amplificadores. O terceiro tipo de controlo de balanço é também um controlo de potenciômetro duplo variável, como se mostra na Figura 56. Este controlo utiliza resistências variáveis que possuem condutores colocados em meia rotação e a resistência na outra meia. Esta característica permite que o fator de perda de inserção seja reduzido a zero, como se mostra pelo gráfico de resposta na Figura 56.

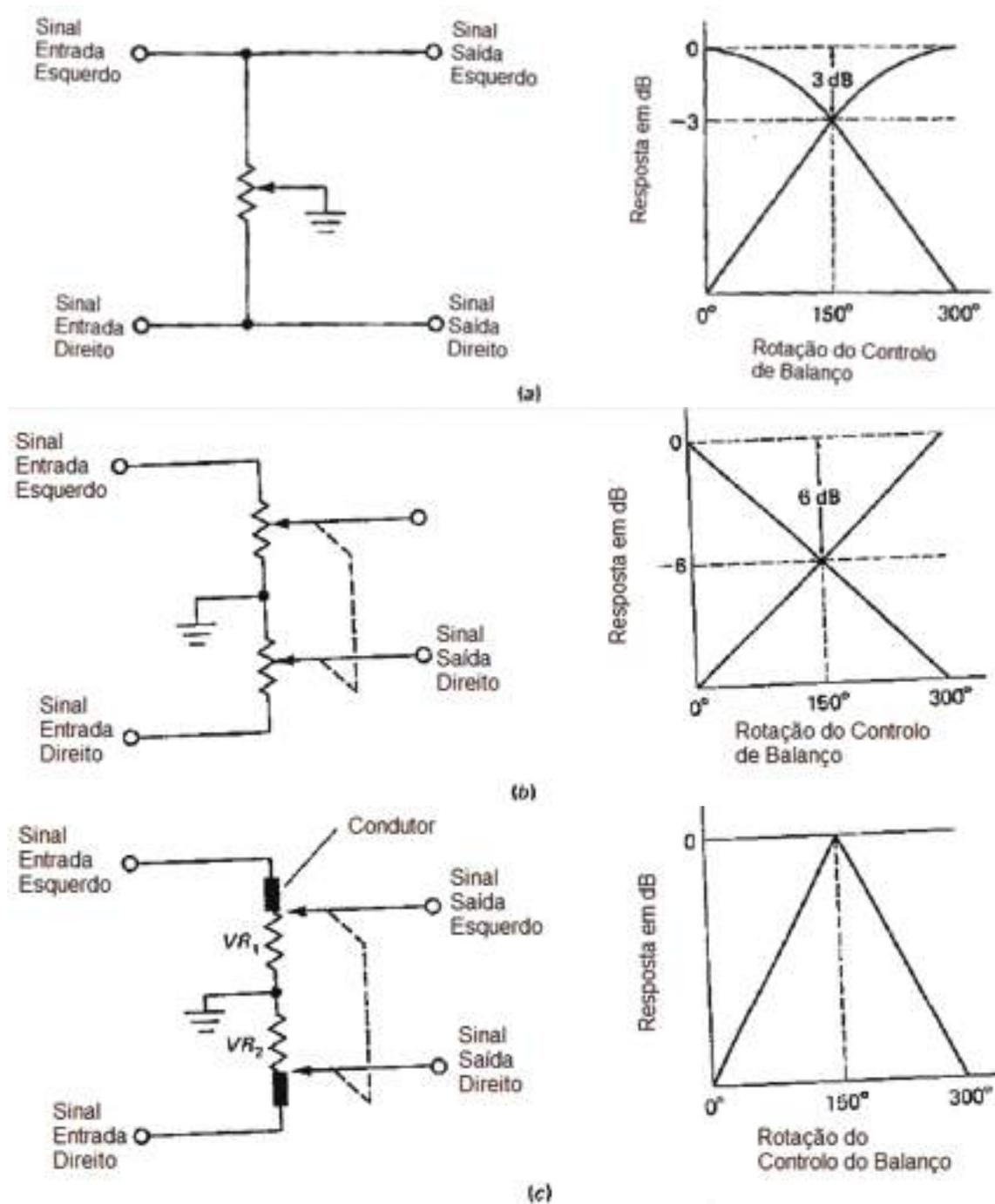


Figura 56 - Circuitos de controlo do balanço de canal.



Perguntas de revisão

1. As três funções de um pré-amplificador são _____, amplificação e controlo.
2. Os discos de gravação têm as suas frequências _____ reduzidas durante a gravação como especificado pelos padrões de gravação RIAA.
3. O circuito de volume transforma o volume de todas as frequências num sinal de volume de _____ Hz.
4. A Equalização de distorção pode ser causada por um defeito _____.
5. O circuito de volume é utilizado para o nível de audição (alto, médio, baixo) _____.
6. _____ são utilizados para anular os ruídos de baixa frequência causados por drives de gira-discos ruidosos.
7. Os controlos de tonalidade muitas vezes têm perdas de inserção de _____ dB.
8. A redução de sinal dum circuito de filtro de estágio simples é de _____ dB por oitava.
9. A frequência de corte para um circuito de filtro é a frequência onde o sinal caiu de _____ dB abaixo do nível da média frequência.
10. A desvantagem do controlo de balanço da resistência variável simples é um ligeiro problema de _____.



Amplificadores de Potência

A potência amplificadora é utilizada para excitar o altifalante, aumentando a tensão e potência dos sinais de baixa-tensão do pré-amplificador. O amplificador de potência geralmente tem cinco estágios, como se mostra na Figura 57. Os circuitos amplificadores baratos não utilizam a entrada, feedback negativo ou circuitos de proteção, de forma a ajudar a manter os custos de produção baixos. Os amplificadores estéreo geralmente utilizam um circuito terminal push-pull (SEPP) no andar de saída. O circuito SEPP permite a acoplação capacitiva ou direta a um altifalante padrão de baixa impedância de cerca de 4 a 16Ω (a maior parte das vezes utilizam-se 8Ω) para uma operação eficiente e uma frequência de resposta plana.

As características do amplificador de potência são: frequência de resposta plana, alta relação S/R, alta estabilidade, sinal áudio puro, baixa distorção e potência suficiente para ativar os altifalantes. A maior parte dos amplificadores de potência utilizam a classe A, B ou AB. A classe C iria provocar muita distorção do sinal áudio e não pode ser utilizado depois do andar de amplificação, alguns amplificadores também possuem circuitos para protegerem os transístores de potência e altifalantes de curtos-circuitos ou sinais de impulso forte tais como o “estalido” quando se liga ou desliga.

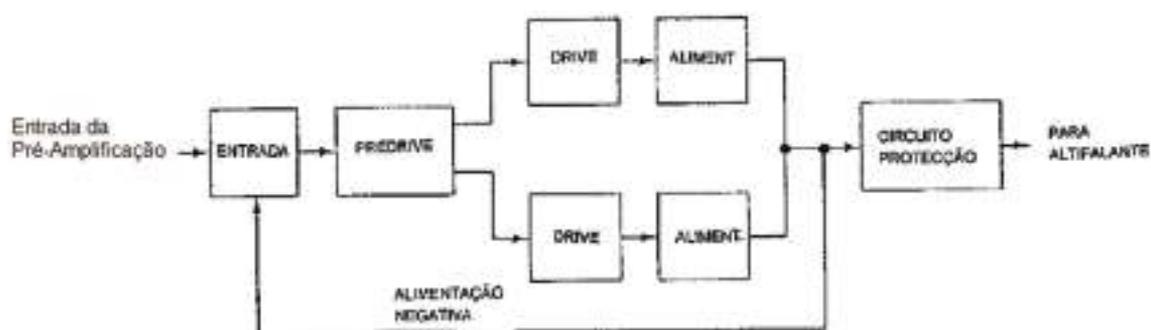


Figura 57 - Diagrama em bloco dos andares do amplificador.

Andar de entrada

O andar de entrada é uma resistência e condensador (RC) acoplados ou diretamente ligados ao andar pré-driver seguinte. Se a entrada estiver acoplada a RC, funciona como um pequeno amplificador de sinais vulgar. A acoplação RC serve como filtro de fonte de sinal que anula as tensões DC.



Nos amplificadores de acoplamento direto, o andar de entrada pode também funcionar como amplificador diferencial, como se mostra na Figura 58, para estabilizar a tensão zero do ponto central. A estabilização do ponto central é necessário com as saídas OCL, para evitar a amplificação DC, que podem causar o mau funcionamento do altifalante. Os transístores normais de sinal baixo, com alta eficiência e baixo ruído são utilizados no circuito de entrada. O ruído também é reduzido pelo feedback negativo dos cerca de 20 a 40 dB da secção de saída. Por causa do feedback negativo, existe muito pouco ganho de tensão nesta secção.

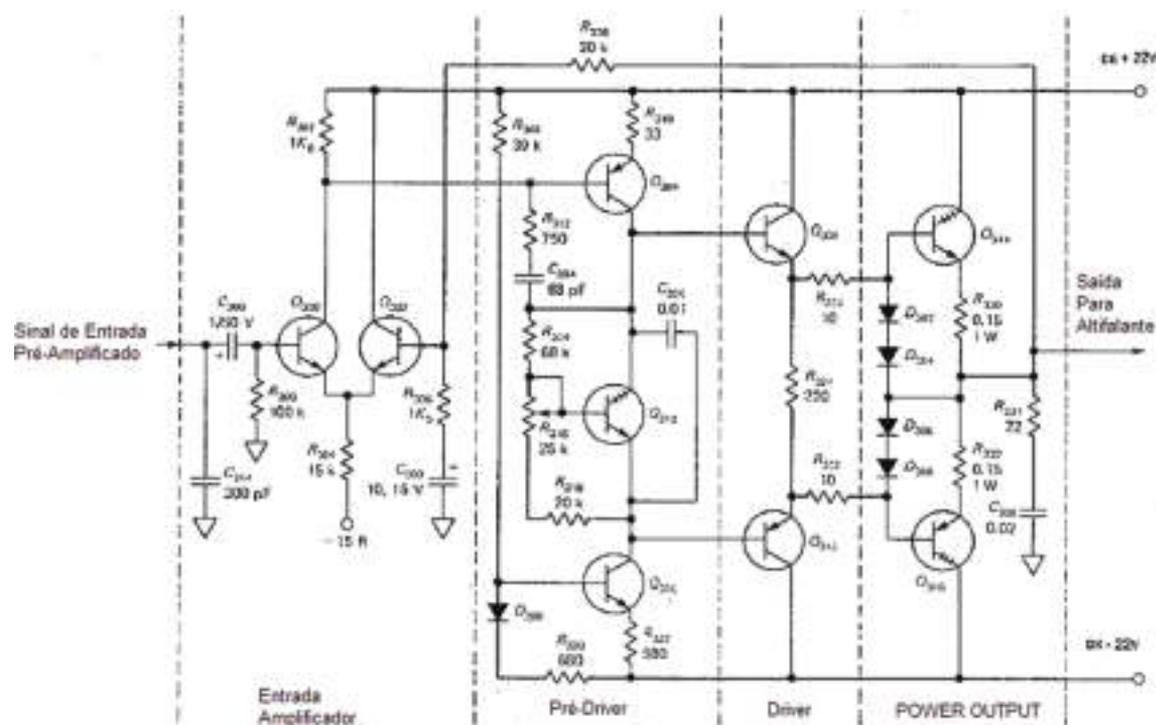


Figura 58 - Um diagrama esquemático dos circuitos do amplificador de potência normal (Cortesia da Advent).

Pré-driver

A secção pré-driver destina-se a regular o balanço DC do circuito de cima e de baixo, nas secções de driver e potência. Os circuitos de driver e potência são geralmente do tipo seguidor de emissor, assim, o ganho de tensão deve ser desenvolvido no estágio pré-driver. O pré-driver proporciona igualmente corrente bias para os estágios de driver e potência, estabiliza a bias e proporciona um ganho de tensão de sinal. Se nenhum circuito de entrada transistorizado for utilizado, o pré-driver recebe feedback negativo



para reduzir o ruído de amplificação, como se mostra na Figura 59. O circuito de balanço de corrente direta pode ter um ajuste de resistência variável, para ajuste da tensão de drive ou este pode estar situado no circuito de drive seguinte.

A função da corrente de bias (idling) do pré-driver é necessário para manter os transístores acima da sua zona de corte de funcionamento, se estiver a ser fornecido um sinal de nível muito baixo. Os transístores dizem-se não-lineares, sempre que se encontram junto ao seu ponto de corte, como se mostra na Figura 60 e devem ser mantidos em funcionamento na porção linear na sua curva de funcionamento.

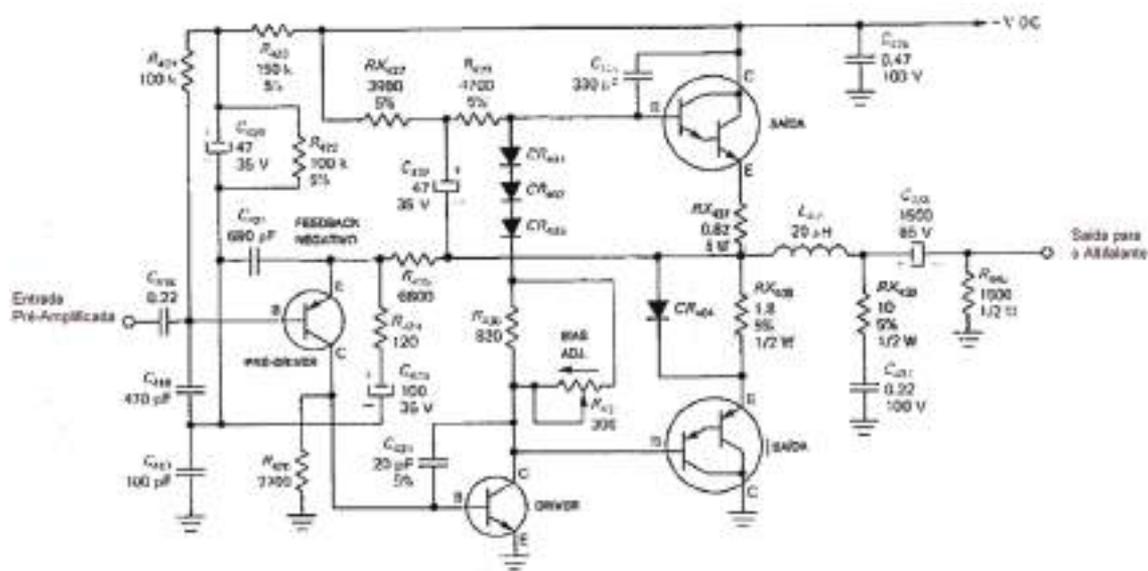


Figura 59 - Um esquema dum amplificador de baixa potência (Cortesia da Zenith).

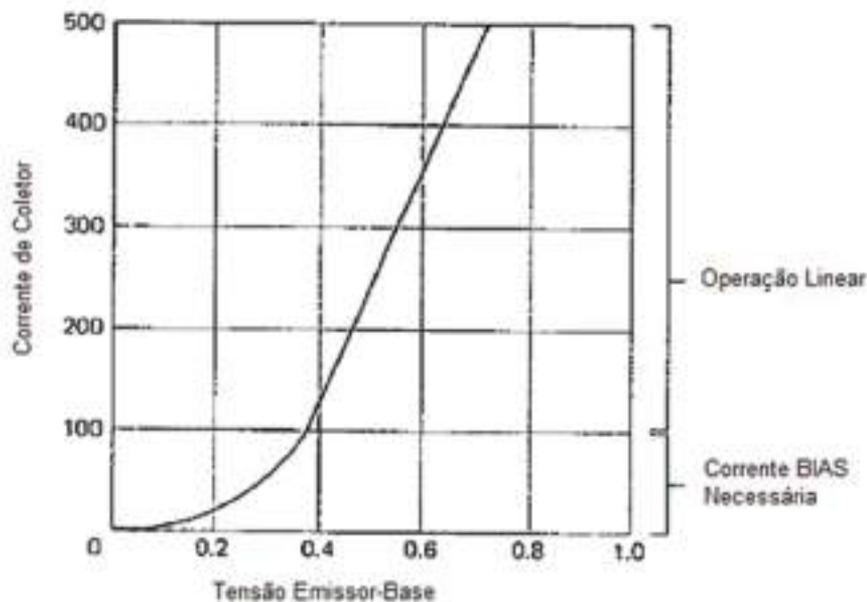


Figura 60 - Um esquema dum amplificador de baixa potência (Cortesia da Zenith).



Se a corrente de bias se tornar demasiado baixa e os transístores tornarem-se não lineares, a distorção pode tornar-se audível durante os sinais de baixo nível.

Driver

O circuito de driver contém geralmente díodos, como se mostra na Figura 61. Os díodos corrigem quaisquer variações no funcionamento, causadas pelas mudanças na temperatura dos transístores de potência, durante o funcionamento. A temperatura característica do diodo é semelhante à temperatura característica dos transístores de potência a serem usados. Os termístores e varístores são normalmente usados em lugar de díodos, para este fim.

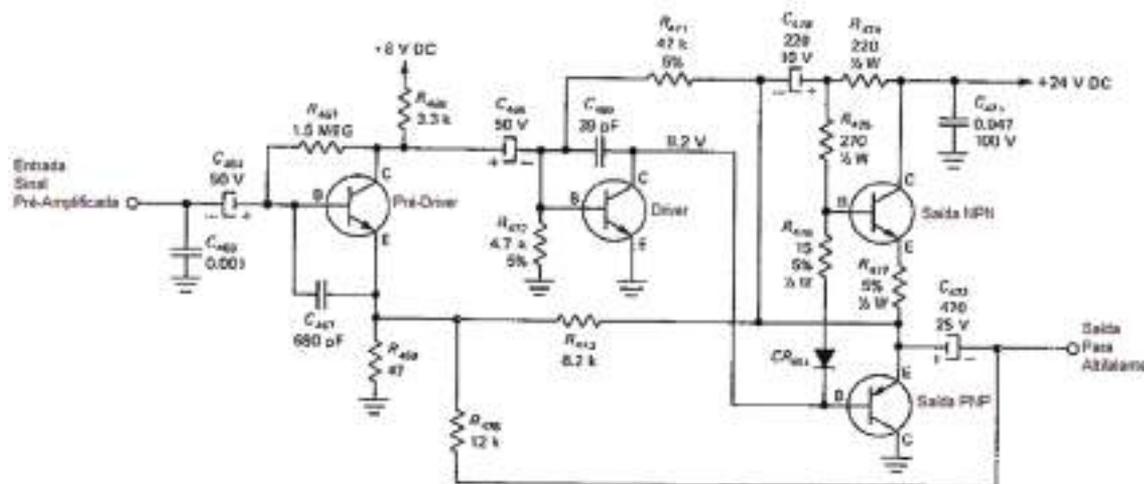


Figura 61 - Um amplificador de potência, que utiliza um circuito de saída complementar (Cortesia da Zenith).

Estão instalados no circuito do drive, onde as variações de temperatura no transístor de potência podem ser rapidamente recebidas, para estabilização no bias. Por vezes, os díodos também são utilizados no circuito de bias, para estabilizar a tensão do bias pré-driver que, de outra forma aumentaria à medida que aumentasse a temperatura de funcionamento do circuito. Se a bias aumentasse, os transístores do driver e de potência estariam continuamente em funcionamento a um nível mais elevado e poderiam danificar-se com o calor produzido.



Andar de potência complementar puro

Os circuitos complementares puros são muitas vezes utilizados como circuitos driver em amplificadores de alta potência. Podem igualmente ser utilizados como circuitos de saída em amplificadores de baixa potência. Os circuitos complementares utilizam um transistor PNP e um transistor NPN. Ambos os transistores têm as mesmas características elétricas, mas diferem na tensão e corrente de funcionamento. A Figura 61 mostra um simples amplificador de baixa potência que utiliza o circuito de saída complementar puro. Metade do ciclo é conduzido por um transistor e a outra metade por outro. Esta configuração push-pull proporciona eficiência e baixo nível de ruído.

Andar de potência quase-complementar

Se for necessária uma grande potência de saída, o circuito complementar puro pode não produzir potência suficiente. Por isso, para se obter maior ganho de saída, utilizam-se transistores complementares, como se mostra na Figura 62. O circuito complementar torna-se então na secção drive do amplificador.

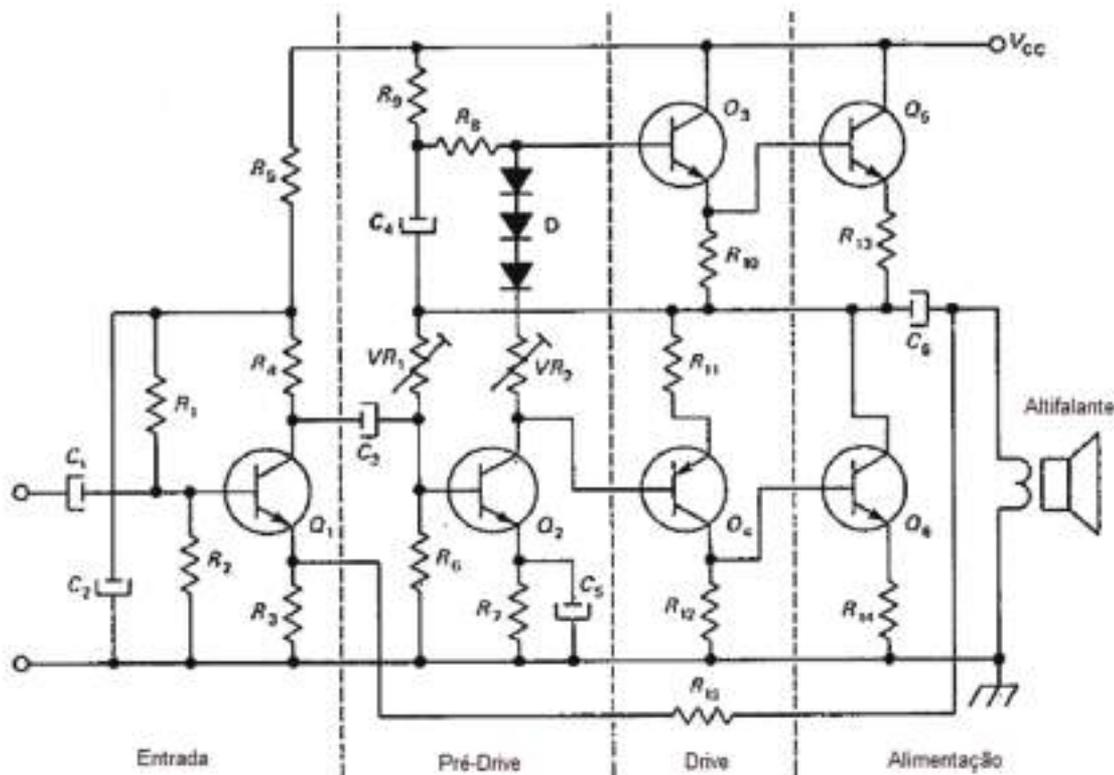


Figura 62 - Um amplificador quase-complementar, que possui o driver e os transistores de potência Darlington ligados (Cortesia da AKAI).



Os transístores de potência têm uma ligação Darlington aos transístores de drive complementar. Nos amplificadores de baixa potência, o circuito Darlington pode estar incluído num transístor Darlington especial, como se mostra na Figura 63. A maioria dos amplificadores, contudo, têm drive com ligação Darlington em separado e transístores de potência para dissiparem a maior parte do calor gerado na mais alta potência de saída. Se for necessário um amplificador de muito alta potência (acima de 100 watts rms) podem ligar-se dois ou três transístores de saída em paralelo, utilizando uma ligação Darlington ao driver, como se mostra na Figura 64.

Os transístores de alta e baixa potência no circuito quase complementar devem possuir características idênticas (gama beta) para produzirem um sinal áudio limpo com muito baixa distorção. Se um driver ou transístor de potência estiver deficiente, o transístor seleccionado para a sua substituição deve possuir a mesma gama beta (geralmente com código de cores), como os restantes transístores na outra metade do circuito push-pull.

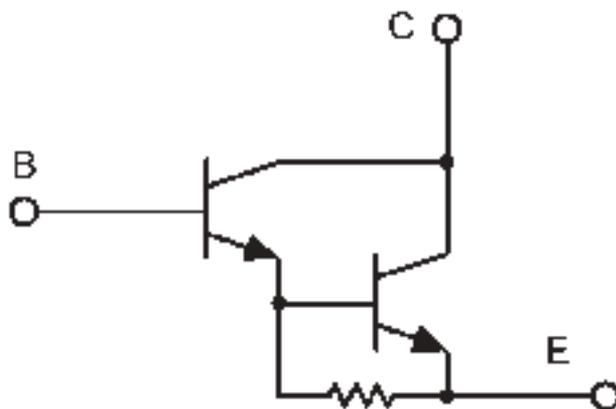


Figura 64 - Um transístor de ligação Darlington.

Para baixa distorção, muitos técnicos preferem substituir os transístores superiores e inferiores do circuito push-pull por um par de novos transístores afinados de fábrica.

Fator de amortecimento

O fator de amortecimento de uma saída de amplificador é uma característica da sua capacidade de permanecer estável durante as impedâncias de carga, em diferentes frequências áudio. Uma vez que a impedância do circuito de saída do andar de potência



é muito baixa, a impedância de saída funciona como uma derivação, através da bobine do altifalante, para amortecer os movimentos dos cones dos altifalantes, uma vez que o sinal de entrada mudou. Os cones de altifalante são de alguma forma parecidos com os movimentos duma criança, quando se lhe dá um empurrão, porque têm a tendência de manter o movimento durante vários ciclos. Quando existe uma derivação da bobine do altifalante, esta tende a produzir uma força, que se opõe a qualquer movimento livre do cone do altifalante.

O fator de amortecimento pode ser determinado pela seguinte fórmula.

$$\text{Fator de Amortecimento} = \frac{\text{Impedancia do Altifalante}}{\text{Impedancia de saída do Amplificador}}$$

Uma impedância de saída do amplificador de cerca de $0,4\Omega$ dará um fator de amortecimento de cerca de 20, o que é aceitável.

Um ligeiro aumento do fator de 40 ou 50 é ainda melhor e pode encontrar-se em amplificadores de alta qualidade. O fator de amortecimento também pode ser determinado medindo a relação da tensão de saída de carga e descarga a 6 dB, menos que a relação máxima de potência, com uma onda de sinal de 100 Hz. Contudo, a medida de descarga deve ser feita apenas durante alguns segundos, porque a descarga dum circuito de saída a alta potência pode danificar alguns transístores de potência, após certo período de tempo.

Acoplamento direto

O acoplamento direto entre andares e entre o circuito de saída e o altifalante melhora a estabilidade do amplificador e elimina a deslocação de fase que ocorre entre cada andar, se forem utilizados condensadores acoplativos.

A utilização de fontes de Equalização positivas e negativas, como se mostra na Figura 58, com um circuito de saída quase complementar, produz uma tensão 0 à saída do altifalante. O altifalante pode ser acoplado diretamente ao circuito de saída e é por isso um amplificador de condensador menos (OCL). Os circuitos de entrada e pré-drive também podem ser diretamente acoplados, o que completa um andar de acoplamento



direto, amplificador quase complementar. A vantagem do acoplamento direto é uma maior estabilidade se utilizarmos o sistema NFB para melhorar as características de amplificação. O amplificador de acoplamento direto geralmente tem uma resposta de baixa frequência muito plana.

Embora o acoplamento direto pareça bom, tem alguns inconvenientes. O balanço DC pode perder-se ligeiramente em virtude das alterações de circuito provenientes do calor. São necessárias igualmente duas fontes de potência reguladas rigorosamente, de polaridade oposta. Outra desvantagem é a amplificação DC de cada andar, uma vez que todos os andares estão diretamente acoplados. Por exemplo, uma ligeira alteração na corrente do coletor num andar será amplificada e fornecida ao altifalante, provocando o sobreaquecimento da bobina áudio ou a distorção do funcionamento. O problema da amplificação DC pode contudo ser reduzido, utilizando circuitos de correção da temperatura e NFB, a partir do andar de potência de saída para o primeiro andar de entrada.

Circuito de proteção

O circuito de proteção ajuda no amortecimento do circuito de saída. Se a saída entrar acidentalmente em curto-circuito, ou se utilizarmos um nível de sinal de entrada muito elevado, haverá um forte fluxo de sobrecarga através dos transístores de potência provocando a sua possível destruição. A proteção mais simples é um fusível instalado na linha de saída, a seguir aos transístores de potência. Embora a instalação de um simples fusível em linha ajude, a sua proteção pode tornar-se demasiado lenta se a sobrecarga for grande e instantânea. Quando se utilizam um amplificador OCL, o altifalante bem como o circuito de saída devem, igualmente, ser protegidos. A proteção necessária para amplificadores modernos pode, muitas vezes, ser mais eficaz se fornecida por um sistema de circuitos de corte eletrónicos.

Existem três tipos de circuitos de proteção eletrónicos disponíveis no mercado: do tipo de corte de sinal, do tipo de corte de carga e do tipo de corte de alimentação. A Figura 65 mostra diagramas de blocos destes três circuitos básicos de proteção.



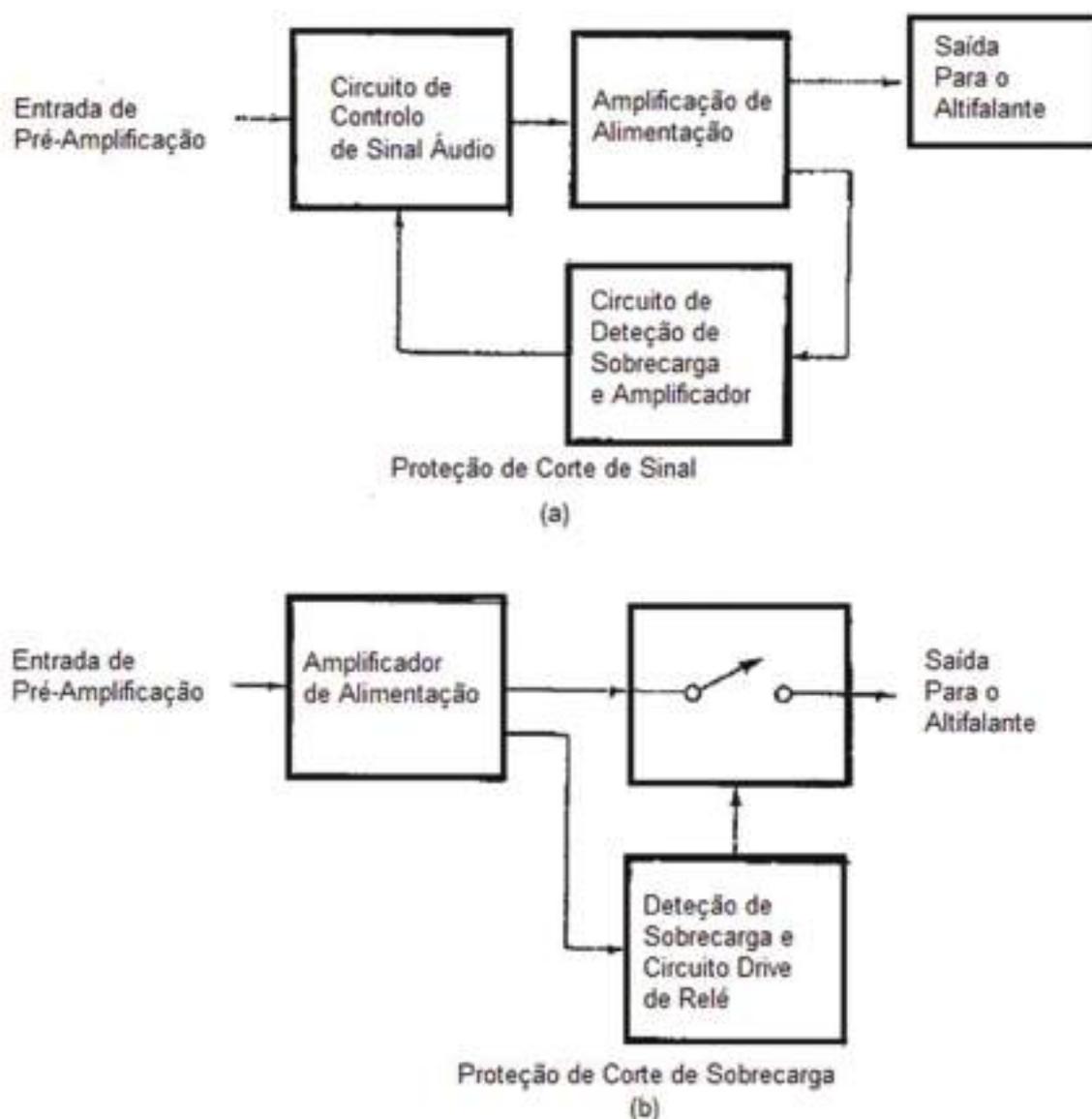


Figura 65 - Diagramas bloco dos três circuitos básicos de proteção.

O sistema de corte do sinal funciona por sobrecarga de sensores, amplificando o sinal de sobrecarga e enviando-o de regresso ao andar de controlo áudio, onde o sinal áudio é cortado. O sistema de corte de carga funciona por deteção de sobrecarga ou de corrente direta na saída e ativa um relé para cortar a carga do altifalante. O sistema de corte da fonte deteta um fluxo de corrente de alta no amplificador de potência ou a queda de tensão na fonte, quando o amplificador de potência está em sobrecarga e corta a fonte de alimentação. Para salvar os custos de produção, utilizam-se por vezes fusíveis em vez de relés, em circuitos de corte. Quando um amplificador não tiver sinal de saída, verifique o circuito de proteção, pode ser um fusível queimado.



Circuito de “mute”

Se o comutador principal estiver ligado, gera-se instantaneamente um estalido. O ruído é causado principalmente pela mudança de corrente do condensador de saída no circuito SEPP, se utilizarmos apenas uma fonte de alimentação DC para ativar os circuitos. A altura do estalido está diretamente relacionada com a medida do condensador de saída. Se forem utilizadas duas fontes de alimentação com um circuito SEPP OCL, haverá muito pouco ruído, caso haja algum. Contudo, na prática, o ruído ainda pode ser gerado devido à carga de outros condensadores no circuito do amplificador. Embora o estalido tenha curta duração, pode causar dano ao altifalante, bem como ruído desagradável para o ouvinte.

Utiliza-se o circuito “mute” em muitos amplificadores para atrasar a ligação do circuito de saída do amplificador à fonte de alimentação d.C, até que os condensadores se carreguem. Alguns amplificadores podem, em vez disso, utilizar um circuito de silêncio para ligar ou desligar a saída do amplificador para a carga do altifalante, como se mostra na Figura 66. O tempo constante do circuito é determinado por C_2 e R_{10} e normalmente é de cerca de 2 ou 3 segundos.

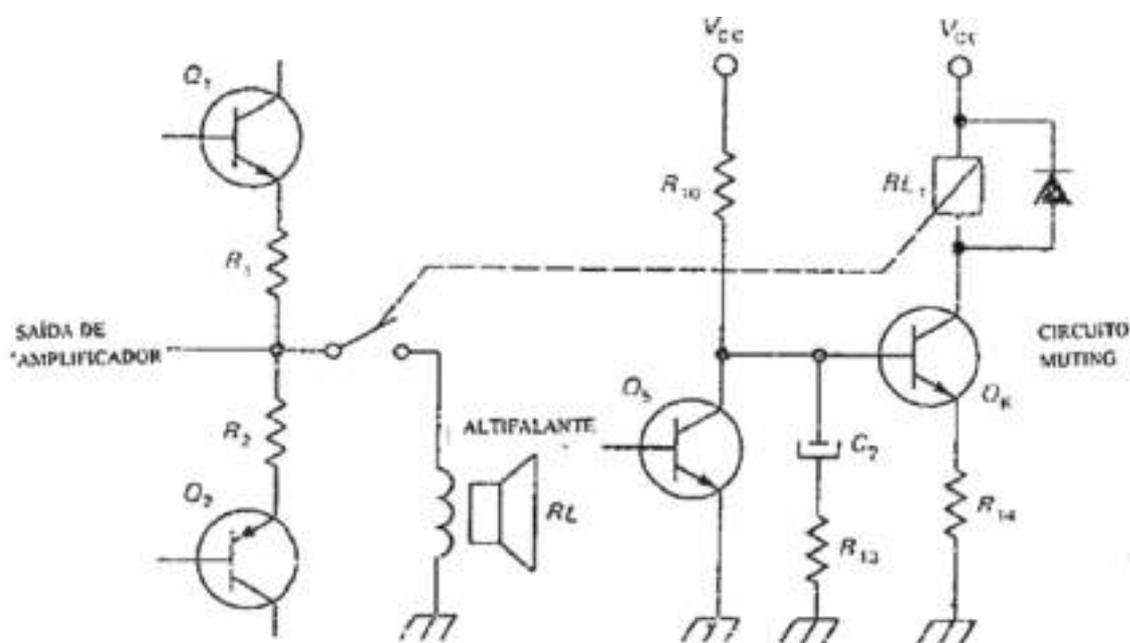


Figura 66 - Um circuito de mute para desligar o altifalante, durante os impulsos de ruído.



Perguntas de Revisão

1. O andar de entrada estabiliza o funcionamento do amplificador e aumenta a _____ de entrada.
2. Utiliza-se um circuito feedback da saída para a entrada ou pré-driver para reduzir _____ e ajudar a estabilizar o funcionamento do amplificador.
3. Utilizando uma corrente de _____ o drive e transístores de potência mantêm-se na zona linear da curva de funcionamento.
4. As modificações de funcionamento do transístor são causadas por mudanças na temperatura de funcionamento, mas podem ser corrigidas utilizando _____ no driver ou circuitos de potência.
5. O circuito de saída quase-complementar utiliza circuitos de potência _____ ligados aos transístores complementares.
6. O fator de amortecimento do amplificador é igual à impedância do altifalante dividida pela impedância do _____.
7. Um amplificador de _____ tem a saída direta acoplada ao altifalante.
8. Um simples fusível de linha pode não proteger um estágio de saída, porque é demasiado _____ para funcionar.
9. Os circuitos de silêncio ajudam a proteger um sistema de altifalante dos ruídos causados durante a _____.



Funcionamento do Amplificador

Três características de melhoria básica são a baixa distorção, potência de sinal suficiente para ativar altifalantes e uma resposta de áudio de frequência linear. A distorção é uma modificação indesejável na formação da onda do sinal áudio. Sinais distorcidos são produzidos tanto pelos transdutores como pelos circuitos do amplificador, mas a distorção não será um grande problema, se for resolvido de imediato. Testes de audição provaram que a distorção começa a ouvir-se quando se usa uma tonalidade musical simples a um nível de cerca de 0.3%. Contudo, a maior parte da música é uma mistura de muitos tons, os quais encobrem a distorção. A distorção apreciável mais baixa, com sons musicais, varia entre cerca de 2 e 6%, dependendo do tipo de música e da audição do ouvinte. Uma vez que cada componente áudio contribui com a sua quota-parte de distorção, o amplificador deve estar bem abaixo dos 2%. As distorções podem dividir-se em cinco tipos principais: harmónica, intermodulação (IM), cruzamento, limitadora e transitória.

Distorção harmónica

A distorção harmónica (HD) pode ser causada por um defeito na rede feedback, ou pela natureza não-linear dos circuitos do amplificador. HD é o múltiplo ou a fração dum sinal áudio básico, como se mostra na Figura 67. Os instrumentos musicais também produzem harmónicas, pelo que as harmónicas do amplificador podem não se notar facilmente. Este tipo de distorção pode modificar a forma de som dum instrumento musical, mas geralmente não o torna desagradável. Se o HD for muito mau, ele deve surgir como na Figura 68 num padrão do osciloscópio da saída do amplificador. A distorção causada por cada harmónica pode ser acrescentada, para dar uma visão da distorção de harmónica total (THD).

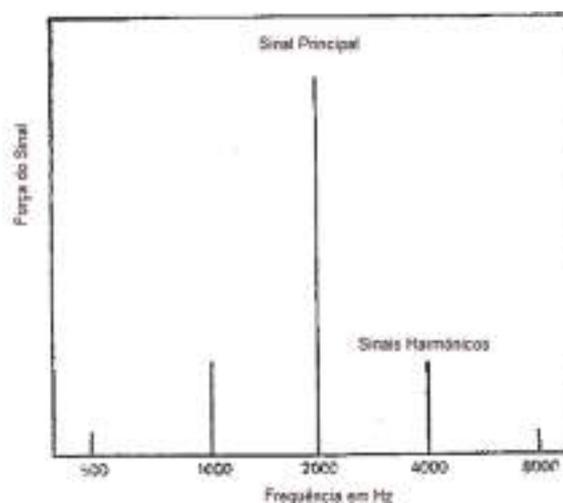


Figura 67 - Um exemplo de sinais com harmónicas que causam distorção.



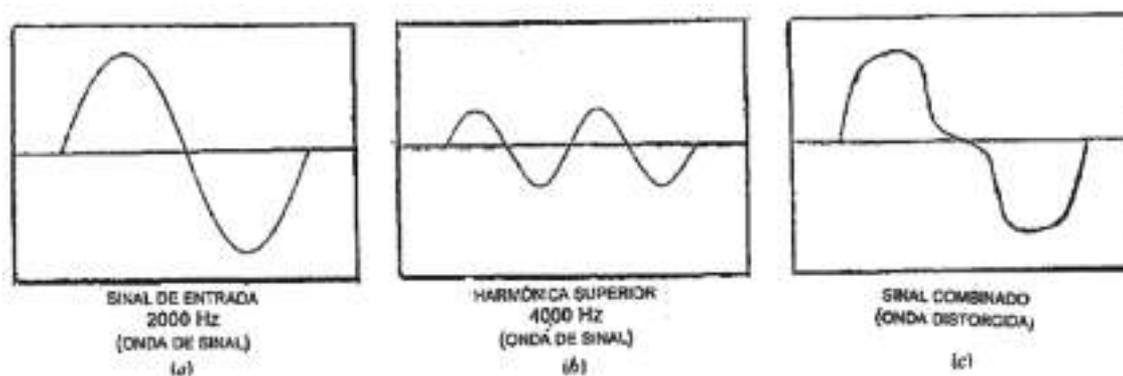


Figura 68 - Exemplos de osciloscópio, mostrando uma séria distorção de harmônica.

Os níveis de THD nos amplificadores mais modernos são muito baixos e normalmente abaixo de 1%, mesmo na relação de potência máxima. As medidas de distorção são feitas com uma tonalidade teste de uma onda de sinal simples (muitas vezes 1000 Hz) e um analisador de distorção.

Distorção IM

A distorção IM é a adição e subtração de dois ou mais sinais áudio. Por exemplo um sinal baixo de clarinete de 200 Hz pode ser combinado com um sinal de violino de 600 Hz para produzir (por subtração) um de 400 Hz e um mais fraco de 800 Hz (por adição), como se mostra na Figura 69.

Os sinais IM são desagradáveis ao ouvido, porque não se assemelham aos tons musicais naturais. A experiência mostrou que parecem ter maior distorção de IM do que HD na maioria dos amplificadores e podem ser ouvidos a níveis de distorção ligeiramente mais baixos.

As medidas de distorção IM, como as THD, são feitas com um gerador áudio de baixa distorção especial (cerca de 0.005% ou menos), para produzir sinais teste de áudio limpos. Várias companhias produzem analisadores de distorção, os quais também têm acoplados geradores áudio de alta qualidade, para mais fácil e rápida medição da distorção. Os filtros passa-banda são muitas vezes utilizados no analisador de distorção, para ajudar a reduzir o silvo e ruído de interferência, durante as medições.

São necessários dois sinais de teste para o teste de distorção IM. A Sociedade de Engenheiros de Cinema e Televisão (SMPTE) e o Instituto dos Fabricantes de Alta



Fidelidade (IHFM) standardizaram as duas frequências de teste em 60 e 7000 Hz para amplificadores stereo (60 e 6000 Hz para outros tipos de equipamento áudio). Os dois sinais de teste de 60 e 7000 Hz são fornecidos à entrada do amplificador ao mesmo tempo.

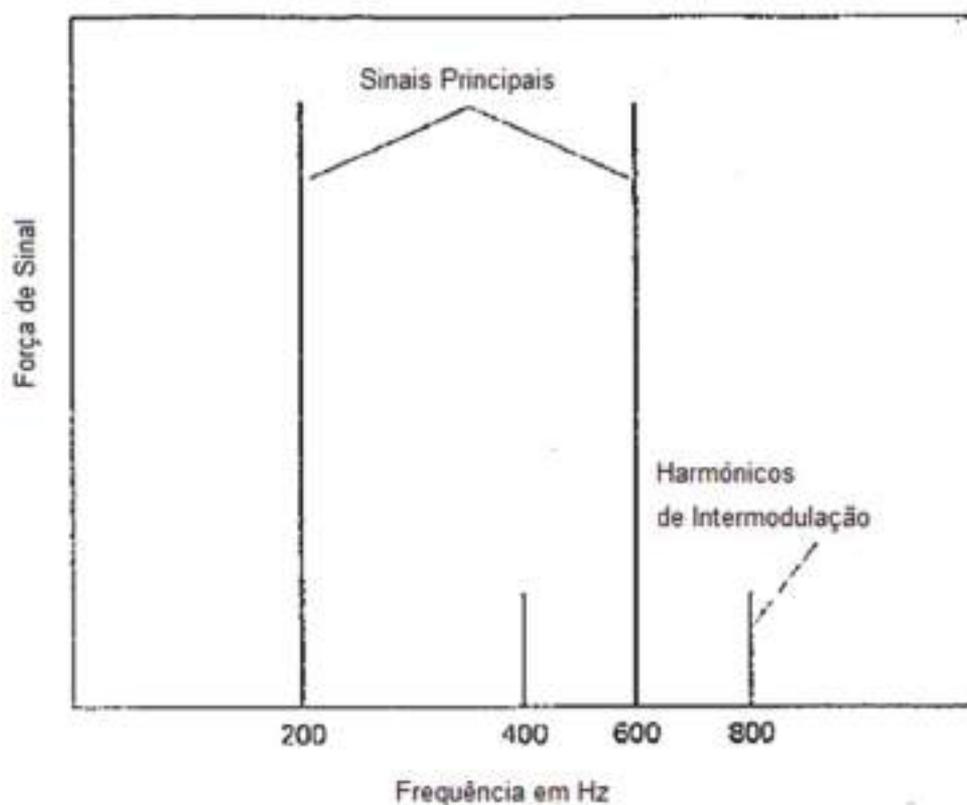


Figura 69 - Um exemplo de sinais de distorção intermodal.

São necessários dois sinais de teste para o teste de distorção IM. A Sociedade de Engenheiros de Cinema e Televisão (SMPTE) e o Instituto dos Fabricantes de Alta Fidelidade (IHFM) standardizaram as duas frequências de teste em 60 e 7000 Hz para amplificadores stereo (60 e 6000 Hz para outros tipos de equipamento áudio). Os dois sinais de teste de 60 e 7000 Hz são fornecidos à entrada do amplificador ao mesmo tempo. O nível de tensão do sinal de 60 Hz é quatro vezes (12 dB) maior que o nível do sinal de 7000 Hz. A interação dos dois sinais teste é medida então à saída do amplificador com um analisador de distorção, enquanto o amplificador é conduzido a 6 dB abaixo da relação da potência de saída.



Distorção cruzada (Crossover)

A distorção cruzada dá-se por causa da operação não-linear dos amplificadores push-pull da classe B, no estágio de drive dum amplificador de potência. Os transístores devem manter-se acima do ponto operativo não-linear, pelo uso de pequenas tensões de bias ou corrente. Se a bias é demasiado pequena, ocorre uma ligeira distorção de cruzamento durante os sinais de baixo nível, onde o sinal muda de positivo para negativo, como se mostra na Figura 70. O uso da tensão de bias evitará esta distorção durante a “iddling” (sinais de baixo nível) dum amplificador. A distorção de cruzamento pode observar-se num osciloscópio, durante os sinais de baixo nível, se a bias estiver posicionada demasiado baixa.

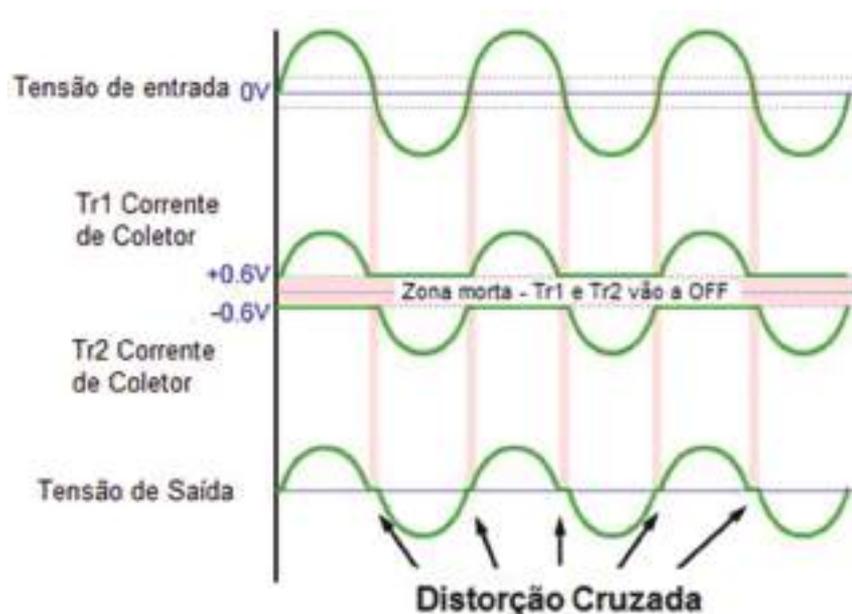


Figura 70 - Um exemplo de Alteração na forma de onda com distorção “CROSSOVER”.

Distorção limitadora

Se se aumenta o drive amplificador, os transístores de saída alcançam um ponto de saturação e deixam de produzir sinais de saída. Quando acontece saturação, os sinais de saída da onda de sinais começam a amontoar-se e os picos normalmente arredondados, passam a ser planos, como se mostra na Figura 71. A distorção limitadora, se observar num osciloscópio, será cerca de 1% ou mais.





Figura 71 - Uma onda de sinais que mostra distorção limitadora.

A limitação é uma das distorções mais comuns, especialmente se utilizar amplificadores de baixa potência. Tendo os controles de baixos posicionados no máximo e o circuito de volume ligado, originará muitos sons de baixa frequência a serem conduzidos abaixo do limite de potência do amplificador e a limitação ocorrerá. A limitação origina que os sons altos não sejam limpos. Não existe solução para a distorção limitadora, exceto para manter o volume suficientemente baixo, para evitar que o amplificador atinja o seu limite de saturação, durante os sinais musicais.

Distorção transitória

Os sinais transitórios são produzidos por instrumentos de percussão, tais como campainhas, triângulos, pianos, tambores, pratos. Sempre que haja um repentino impulso sonoro proveniente da percussão dum instrumento, existirá um som transitório. Se, de repente, for aplicado ao amplificador um grande sinal transitório, o sinal pode tornar-se distorcido devido ao lento tempo de resposta do amplificador. Todos os amplificadores áudio necessitam de um tempo de resposta específico, que é determinado pelas características dos circuitos e é medido em microssegundos. Quando o tempo de resposta do sinal é mais rápida que o tempo de resposta do amplificador, dar-se-á uma distorção transitória. A Figura 72 mostra uma possível onda resultante, devida à distorção transitória do sinal de entrada. Note o tempo que o sinal leva a alcançar o nível máximo.



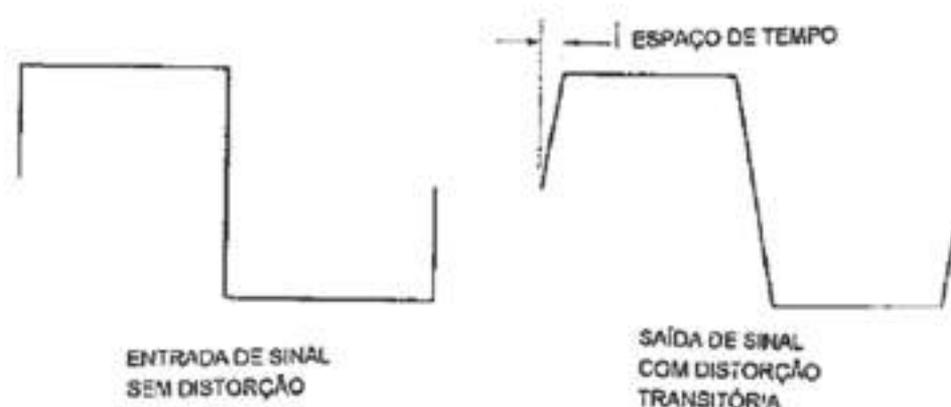


Figura 72 - Um exemplo de mudança na forma da onda, com distorção transitória.

Distorção transitória pode ser causada por amplificadores com defeito ou de baixo rendimento, não lineares, através da gama de áudio frequência. A distorção transitória é causada também pelo atraso de sinal através dum anel forte de NFB, especialmente num RC acoplado a um amplificador de transistor multi-andar. Os amplificadores de válvulas a vácuo não têm circuito NFB e por isso têm menos distorção transitória. Alguns técnicos acreditam que o motivo principal para a diferença no som entre um amplificador a válvulas e um amplificador a transístores reside na muito maior distorção transitória no transistor amplificador.

Não existe procedimento de teste standardizado para medir a distorção provisória. O uso de ondas quadradas, contudo, podem ajudar a estimar os problemas de distorção provisória, comparando o funcionamento do amplificador.

Potência de saída

A potência de saída dos amplificadores era, e ainda é, confusa para os utentes do estéreo. Até 1974, a potência podia ser descrita pelos fabricantes como potência musical, potência de pico, potência IHF ou potência de rms em 4 Ω , 8 Ω , ou 16 Ω de impedância de carga, utilizando um ou ambos os canais e com 1, 3 ou até 5% HD. Em 1974, FTC standardizou as relações de potência, de forma que a potência pode ser medida em watts de rms, com ambos canais servidos por uma carga de altifalante de 8 Ω , a menos de 1% HD de 20 a 20.000 Hz.



Para amplificadores a transístores, o nível de saída de distorção limitadora corresponde geralmente ao ponto em que a potência pode ser medida por aproximação, se não houver analisador de distorção disponível, para se encontrar 1% exato do ponto de distorção. A maioria dos amplificadores a transístores tem níveis de HD bem abaixo de 0.1%, de forma que o nível de distorção limitadora é um caminho prático para medir rapidamente a potência máxima do amplificador.

A relação de potência do amplificador pode ser determinada pela medida da tensão de saída, através de uma carga de altifalante de 8Ω , com ambos os canais no ponto limitador por sinais de onda de 1000Hz. Meça a tensão pico-a-pico com um osciloscópio, onde começa a ocorrer a limitação e divida por 2, para a tensão de-pico. Multiplique a tensão de-pico por 0.707 para a tensão rms. A potência do amplificador pode então ser determinada, utilizando a Lei de Ohm:

$$V^2 / R = \text{Potência}$$

A medida da potência por este método estará muito perto da relação de potência específica do fabricante. Este método de avaliação é fácil e rápido. Os resultados, contudo, não podem ser utilizados como parte das características dum amplificador, a menos que as medições da potência sejam efetuadas, utilizando menos de 1% de HD de 20 a 20.000 Hz.

Largura de banda da potência

Se as medidas de distorção se destinarem a um amplificador, são fornecidas a uma frequência de 1000-Hz. Uma vez que a distorção aumenta em baixa e altas frequências, os técnicos acham que a medida da alimentação da largura de banda é importante para a determinação do rendimento do amplificador.

A largura de banda de potência é medida a -3dB (meio da completa relação de potência). Esta é uma maneira prática de medir o rendimento do amplificador, raras vezes sendo acionados na sua potência máxima. A largura de banda de potência determinada pela baixa e alta frequências, onde a distorção do sinal de saída alcança a relação de distorção para a potência máxima a 1000Hz, como se mostra na Figura 73. Por exemplo, um amplificador que tenha 0,1% HD, com um sinal de 1000Hz à potência máxima, deve ter uma largura de banda de cerca de 2Hz a 60kHz. Todas as frequências dentro da largura



de banda têm menos de 1% de distorção. A largura de banda de potência do amplificador é geralmente muito boa e estende-se normalmente para além da gama de frequência áudio, se o amplificador estiver a funcionar devidamente.

A largura de banda difere da frequência de resposta, porque esta mede as alterações de sinal de potência, através das audiofrequências. A Figura 74 mostra uma frequência normal dum amplificador estéreo moderno. A queda da resposta nas baixas frequências deve-se a perdas na acoplagem RC entre andares, e a queda de resposta nas altas frequências é causada pelas características dos transístores. A gama de frequência de resposta é determinada pelas altas e baixas frequências, onde o sinal caiu 3dB. Contudo, a frequência de resposta dentro da gama de audiofrequência varia menos de 1dB.

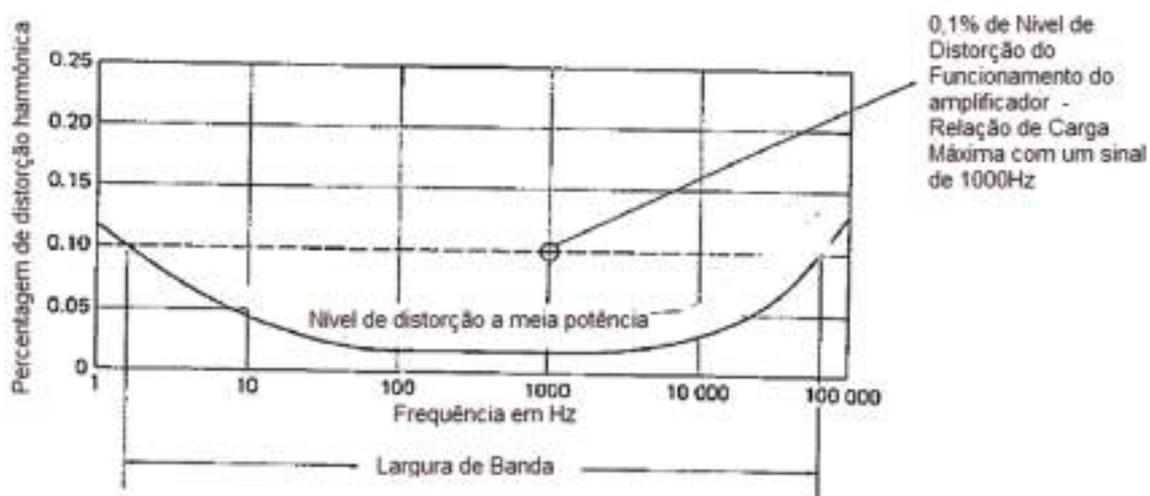


Figura 73 - Um exemplo de um gráfico mostrando a largura de banda dum amplificador.

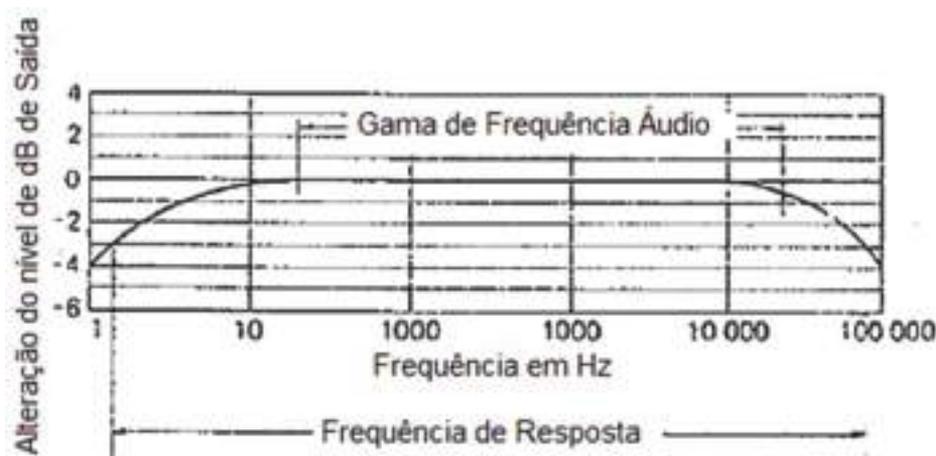


Figura 74 - Um exemplo de um gráfico de frequência de resposta dum amplificador.



Em geral, a frequência de resposta do amplificador, como largura de banda de potência do mesmo, é muito boa e situa-se bastante abaixo e acima da gama de áudiofrequência.

Ondas quadradas

As ondas quadradas são utilizadas para verificar a largura de banda (baixa e alta frequência de resposta), distorção transitória (tempo de transição), amortecimento, distorção de ruído e fase de deslocamento dum amplificador áudio. As ondas quadradas assemelham-se a muitas ondas musicais e os resultados dos testes de ondas quadradas podem ver-se facilmente num osciloscópio normal. As ondas quadradas são fáceis de usar, porque são constantes, repetem-se, são geradas facilmente e têm propriedades bem conhecidas.

As ondas quadradas, como sons musicais, contêm muitas harmónicas de frequência básica. As harmónicas são usadas para desenvolverem a forma de ondas quadradas. Qualquer modificação na amplitude ou fase das harmónicas modificará a forma da onda quadrada. A largura de banda dos harmónicos da onda quadrada é quase igual à frequência fundamental (frequência de gerador) dividido por 10 e a frequência fundamental multiplicada por 10. Embora a onda quadrada possa conter harmónicas até 15 ou 20 vezes a frequência fundamental, o maior efeito é proveniente das primeiras 10 ou 12 harmónicas. Por isso, uma onda quadrada de 1000Hz, quando surge num osciloscópio, representa todas as frequências de cerca de 100Hz a 10000Hz.

Uma onda quadrada não deve passar através dum sinal atenuador entre o gerador e o amplificador. A largura de banda do atenuador poderá não ser suficientemente larga para passar todas as harmónicas na largura de banda da onda quadrada, que distorcerá por isso o sinal da onda quadrada, antes de entrar no amplificador. A saída do gerador áudio também deve ser verificada com o osciloscópio, para assegurar a produção de uma onda quadrada bem formada. Um cume arredondado da principal onda quadrada, medida diretamente do gerador áudio indicará uma deficiente resposta de altas frequências do osciloscópio ou condensador de derivação dos cabos de ligação. Durante os testes de ondas quadradas, o amplificador deve funcionar com 1 ou 2 watts de saída, com uma carga de altifalante de 8Ω de resistência (não-indutiva). Se o amplificador



estiver superexcitado, pode começar a dar-se a limitação, o que distorcerá (e neste caso melhora) o padrão de onda quadrada.

As ondas quadradas de baixa-frequência de cerca de 40Hz são utilizadas para verificar o funcionamento do amplificador dentro da banda dos 4 aos 400Hz. A onda quadrada normal dum amplificador de boa qualidade terá a aparência da Figura 75(a). A onda quadrada deve ter um máximo e um mínimo quase plano, com todos os cantos quadrados quase planos. Os condutores verticais e faixas do topo da onda ficarão invisíveis nas baixas frequências, como se mostra na Figura 75(b), por causa da alta base de tempo-necessário para mostrar vários ciclos.

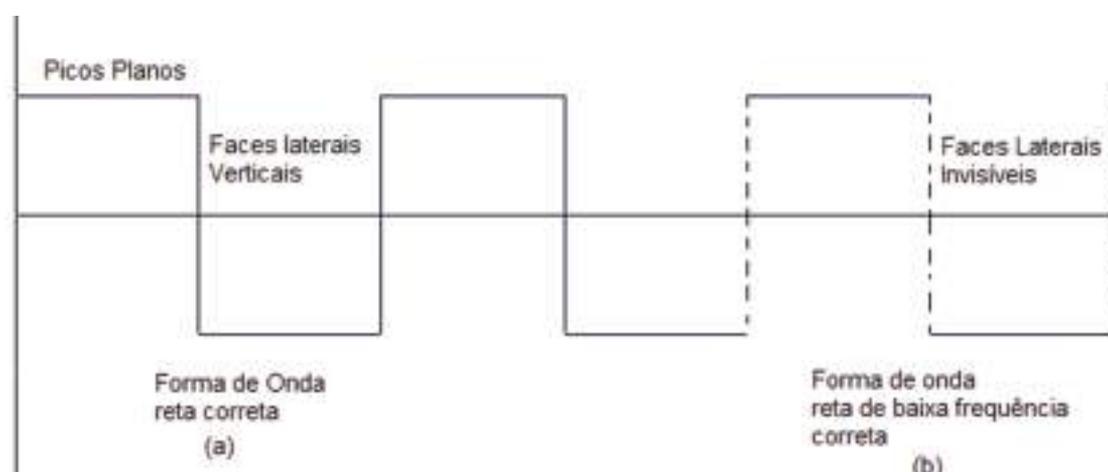


Figura 75 - Padrão de ondas quadradas correto.

Uma resposta de baixa-frequência pobre proveniente dum amplificador pode ser causado por um circuito deficiente ou por acoplagem RC ineficaz a baixas frequências. A Figura 76 (a) mostra como uma onda quadrada com uma resposta de baixa-frequência fraca pode surgir. Repare na curva para dentro para cima e para baixo da onda. Lembre-se que os condutores e faixas superiores ficarão geralmente invisíveis a frequências muito baixas, devido a alta base de tempo- necessária para exibir a onda. A Figura 76 (b) mostra como uma onda com uma frequência de resposta muito forte pode surgir. Repare na curva externa na parte superior e inferior da onda.



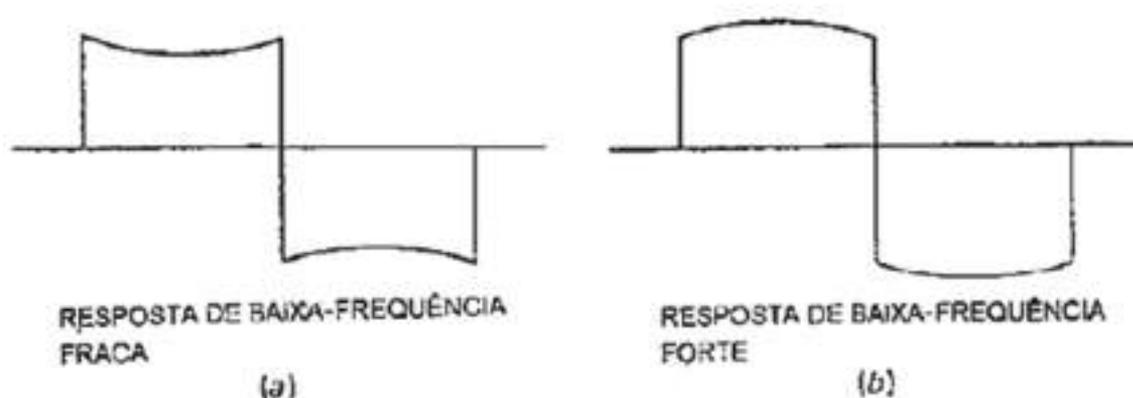


Figura 76 - Padrões de onda quadrada, mostrando resposta de baixa frequência.

A resposta de alta frequência, bem como de baixa-frequência de resposta é grande parte afetada por R, C, e componentes reativos L, que criam redes ressonantes e filtros seletivos nos circuitos do amplificador. Um condensador defeituoso ou outro componente reativo pode causar uma modificação numa frequência de resposta plana normal, especialmente a altas frequências. As altas frequências pobres dum amplificador provoca o arredondamento dos cantos da onda, como se mostra na Figura 77 (a) Se a alta-frequência de resposta é demasiado forte, os cantos condutores sofrerão uma subida para além do topo superior e inferior normal da onda, como se pode ver pela Figura 77 (b).

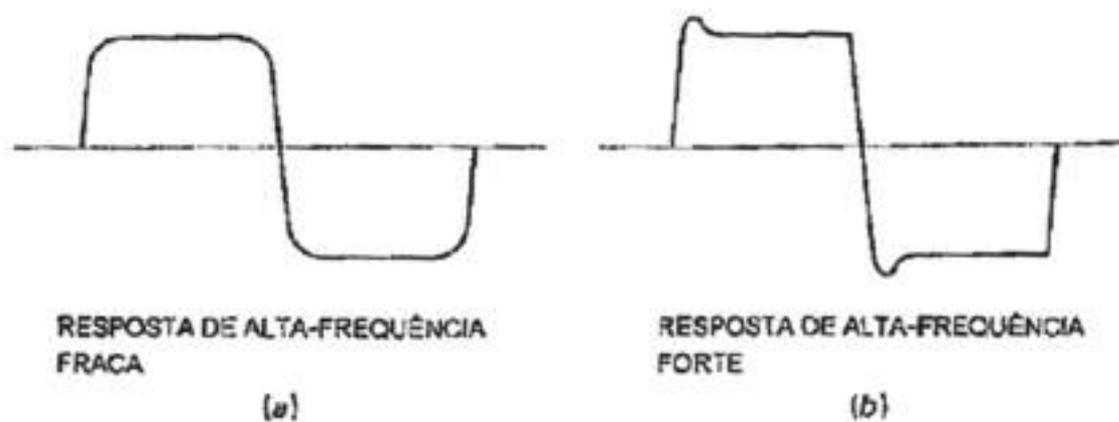


Figura 77 - Padrões de onda quadrada, mostrando resposta de baixa frequência.



Sinais provisórios requerem uma subida rápida na tensão de sinal. Os amplificadores que têm um NFB muito fortes em relação a um amplificador de RC acoplado pode não ser capaz de seguir fielmente os sinais transitórios, especialmente acima de 3000 Hz. O uso de filtros desequilibrados no drive ou estágios de potência, também pode causar ações não-lineares e distorção temporária. A capacidade de um amplificador seguir o sinal transitório é representada pelo tempo de subida de tensão (“slew-rate”) do sinal de onda quadrada nos circuitos do amplificador.

“Rise time” é a medida em microssegundos do tempo que leva para conduzir do topo duma onda quadrada, indo de 10 a 90% da sua distância vertical, a partir da linha central, como se mostra na Figura 78. O uso da medida do tempo de subida pode ajudá-lo, se estiver a inspecionar um amplificador que tenha um som ligeiramente distorcido. Não existe padrão específico para o tempo de subida, mas os mais curtos são os melhores. O tempo de subida representa a diferença de níveis de tensão por microssegundo e por vezes é apresentada com a subida do tempo nas especificações do amplificador, apresentando resposta transitória.

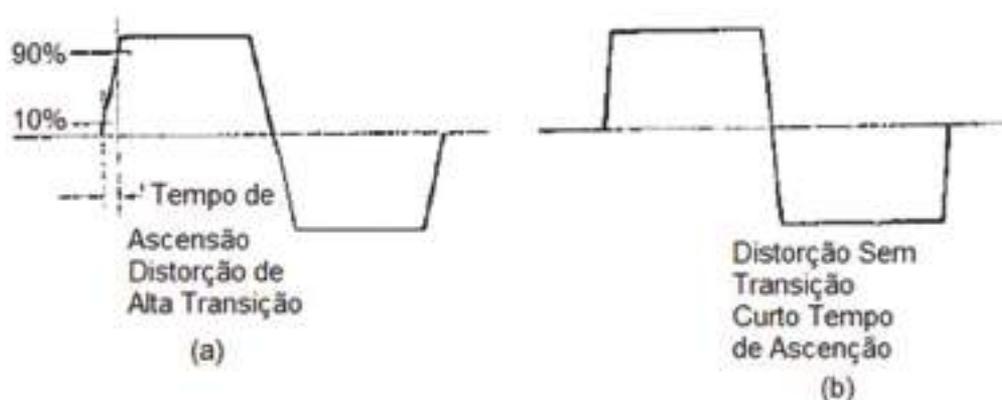


Figura 78 - Padrão de onda quadrada, apresentando distorção transitória, causada pelo abrandamento do tempo de subida de sinal.

O amortecimento do andar de potência dum amplificador é representado pelos extremos superior e inferior da onda quadrada. O amortecimento é necessário para reduzir rapidamente quaisquer oscilações de onda de sinais causada por uma rede de alta impedância no andar de saída. Se verificar a existência de correntes de ondulação residual ou pequenas ondas de sinal no cimo da onda, como se pode ver na Figura 79 (a), o circuito está “ringing” e pode ter uma peça defeituosa ou



design do circuito pobre. Também a parte superior e inferior da onda quadrada apresentará uma interferência “hum”. A tensão de sinal produzida pela interferência hum provoca que a extremidade superior e inferior da onda se tornem mais grossas, como se mostra na Figura 79 (b).

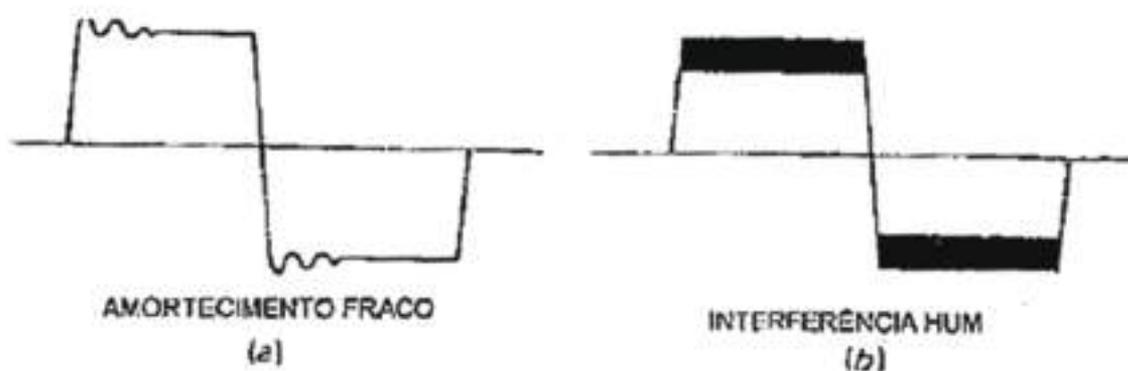


Figura 79 - Exemplos de ondas quadradas com interferência a) anular e b) “hum”.

Distorção de fase (algumas vezes chamada atraso ou inclinação) é produzida pelo deslocamento de fase dos harmônicos da onda quadrada. Estas deslocações de fase são causadas por perdas de baixa-frequência ou má afinação da fonte de alimentação. As variações de fase causam uma ocultação do som e os sons de baixa-frequência perdem a clareza e vivacidade. Os deslocamentos de fase podem ser causados por harmônicas quer conduzindo, quer retardando a frequência fundamental. A Figura 80 (a) e (b) mostra-nos como a distorção de fase aparecerão numa onda quadrada de baixa-frequência. A deteção de declive da fase móvel não deve ser superior a 8° , para evitar uma apreciável distorção. O deslocamento de uma alta-frequência distingue-se numa onda quadrada por os cantos de descida serem diferentes dos cantos de subida. A Figura 80 representa uma onda quadrada, quando ambas as altas-frequências caem para cantos arredondados e um deslocamento de fase transforma os cantos de subida em cantos quadrados.

As formas de onda quadrada têm sido apresentadas com apenas uma distorção de cada vez.



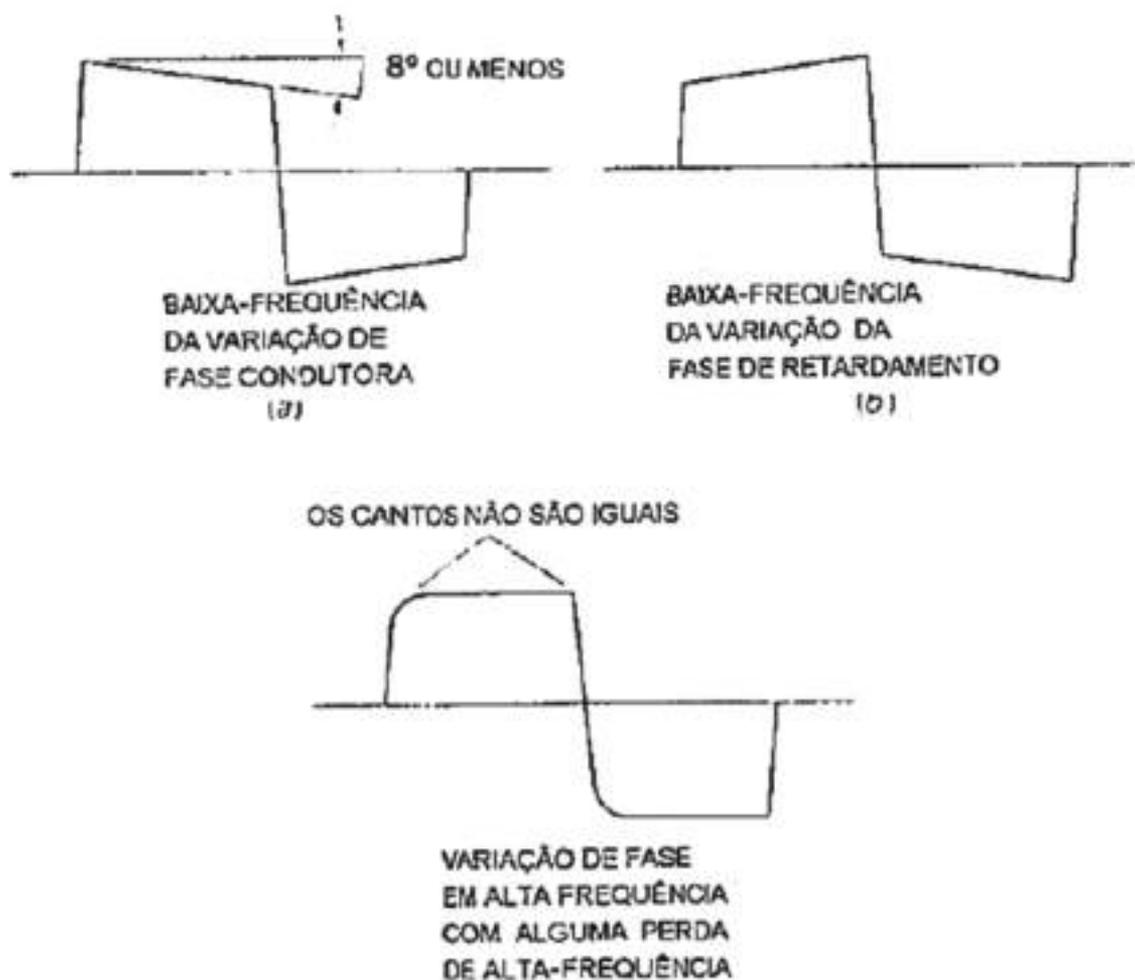


Figura 80 - Exemplos de ondas quadradas com distorções de fase.

Mas, na prática são muitas vezes duas ou mais distorções simultâneas. Por exemplo, uma baixa frequência de resposta fraca terá por vezes uma fase móvel condutora. Estude cuidadosamente as ondas quadradas e identifique o que cada parte da onda oferece. A onda quadrada pode ser uma ferramenta útil na verificação do funcionamento do amplificador ou na deteção de som deficiente.



Perguntas de revisão

1. A menor distorção detetável de sinais musicais é de cerca de _____%.
2. A primeira harmónica superior a um sinal de 400Hz é de _____ Hz.
3. Legislação do Estado Federal defende que a potência do amplificador não deve exceder _____% de THD.
4. Os sinais de teste padrão para a medição da distorção IM são de _____ aos 7000Hz.
5. A distorção cruzada surge se a tensão de _____ do estágio de drive for demasiado baixo.
6. Se o amplificador for conduzido abaixo da potência máxima, sempre que os transístores de saída estejam saturados, começará a distorção _____.
7. A potência de saída rms dum amplificador pode ser determinada dividindo o quadrado da tensão de saída pela _____.
8. A distorção transitória surge se o _____ é demasiado lento.
9. A largura de banda de potência dum amplificador mede-se utilizando um nível de potência igual a _____ da potência máxima.
10. A largura de banda dum sinal de onda quadrada de 40Hz estender-se-á a cerca de _____ Hz.
11. Se todos os cantos de uma onda quadrada forem arredondados, o rendimento do amplificador terá uma _____ pobre.



Resolução de Avarias

Os amplificadores são normalmente muito dependentes e proporcionam muitos anos de serviço de alta qualidade. Ocasionalmente, contudo, pode desenvolver-se um problema operativo proveniente das seguintes situações:

Uso Indevido: Queda do chassis, controlos partidos, líquidos introduzidos através dos orifícios de ventilação, terminais de entrada/saída danificados, etc.

Carregamento Incorreto: Troca das fichas de entradas, cabos áudio deficientes.

Peças Deterioradas: Condensadores eletrolíticos que perdem a capacidade.

Sobreaquecimento: Localização perto da fonte de calor, ventilação deficiente.

Avaria Elétrica: Alta tensão proveniente de trovoadas.

Técnicos experientes descobriram que podem poupar muito tempo, utilizando um sistema de deteção lógico (passo-a-passo), para resolver problemas do amplificador. Sem um sistema lógico, um técnico pode perder muito tempo a testar as peças, que nem sequer estão perto do circuito avariado. Por isso, sugere-se o sistema seguinte para deteção de avarias nos amplificadores:

1. Determine que tipo de problema está a acontecer.
2. Determine se o problema é num ou em ambos os canais.
3. Localize a secção do problema (fonte de alimentação, pré-amplificador, amplificador de potência).
4. Localize o andar ou circuito avariado.
5. Localize e substitua as peças avariadas
6. Verifique e ajuste os circuitos para a potência máxima

Identificação do problema de som

Os problemas de amplificador geralmente causam problemas de som, tais como sem saída, saída fraca, saída distorcida, ruídos de oscilação ou “hum” de interferência. O primeiro passo na deteção é identificar que o problema é detetável ao proceder-se a um cuidadoso teste de audição. Geralmente usa-se um gira-discos como fonte de sinal, porque pode produzir um sinal de boa qualidade e permite à secção de equalizador do pré-amplificador ser testado. Quando se procede a um teste de audição, cada controlo deve ser afinado através da sua gama operativa para verificar o seu efeito no som. Se



o problema do amplificador não puder ser rapidamente determinado, pode utilizar equipamento de teste, como um gerador áudio, osciloscópio, carga de altifalante-fantasma e um analisador de distorção.

Uma vez identificado o problema, o técnico deve localizar a secção em que reside o problema. Se o som defeituoso ocorrer igualmente em ambos os canais, o problema pode ser na fonte de alimentação, uma vez que é comum aos dois canais. Se o som deficiente residir apenas num canal, duas ou mais fontes de sinal, tais como um giradiscos e um deck de gravação podem ser utilizados para determinar se o problema é no equalizador de phono ou nos controlos de tonalidade ou amplificador de potência.

Problema de localização

Se não der som, as primeiras coisas a verificar são os fusíveis e resistências-fusíveis na saída e circuitos de alimentação. Pode parecer estranho a um técnico principiante, mas a superexcitação dum pré-amplificador pode queimar um fusível na fonte de alimentação. Alguns dos fusíveis não são facilmente reconhecíveis, a menos que se utilize um esquema para a sua localização básica.

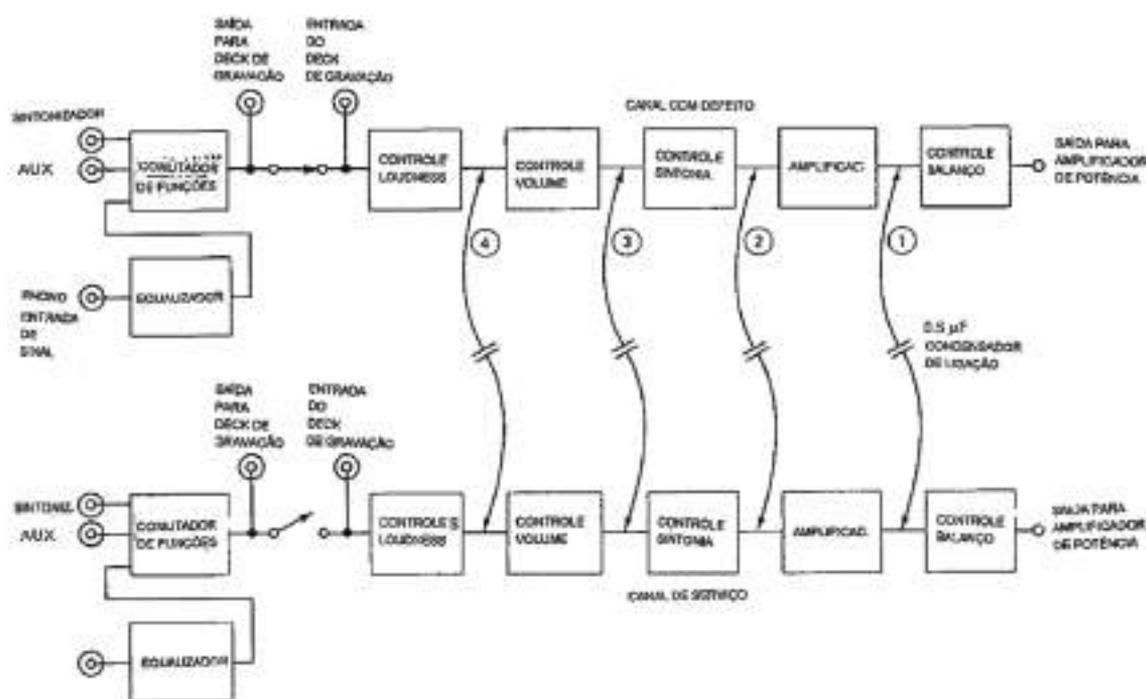


Figura 81 - Detecção num amplificador stereo, ligando o canal bom ao defeituoso, um andar de cada vez.



Substitua sempre os fusíveis por outros exatamente do mesmo tipo recomendado pelo fabricante.

Uma vantagem da detecção num amplificador stereo é que há dois canais e geralmente só um estará deficiente. O funcionamento do canal deficiente pode ser comparado com o canal bom. O canal deficiente também pode ser ligado ao canal bom, para localizar o andar deficiente. A ligação do canal é feita com um condensador $0.5\mu\text{F}$ e pontas de prova, para evitar curtos-circuitos de DC, como se pode ver na Figura 81. Um sinal de entrada alimenta apenas o canal deficiente, enquanto a saída do canal bom é verificado com um altifalante ou osciloscópio. A ligação começa nos andares de saída e move-se de andar para andar em direção à entrada do pré-amplificador. O andar do canal com defeito acabou de ser ultrapassado, se o canal bom produzir um sinal de saída. O seguidor de sinais também pode ser utilizado para localizar um andar com defeito e é especialmente de grande utilidade se os dois canais estiverem avariados.

Se o andar ou circuito com avaria tiver sido localizado, a peça ou peças avariadas devem ser localizadas. Uma inspeção visual cuidadosa do circuito avariado pode ajudar a localizar a peça deficiente. Procure condensadores eletrolíticos corroídos, placas de circuitos impressos partidos (CI), resistências superaquecidas, ou outras avarias. Se todas as peças estiverem normais, deve fazer-se a verificação do ganho de sinal e tensão, enquanto consulta o manual de serviço ou diagramas esquemáticos para níveis de tensão adequados. A Figura 82 indica um esquema de nível de sinal para circuitos de amplificadores normais. Repare que os drives e andar de potência não aumentam a tensão. Contudo, aumentam a corrente para aumentar a potência.



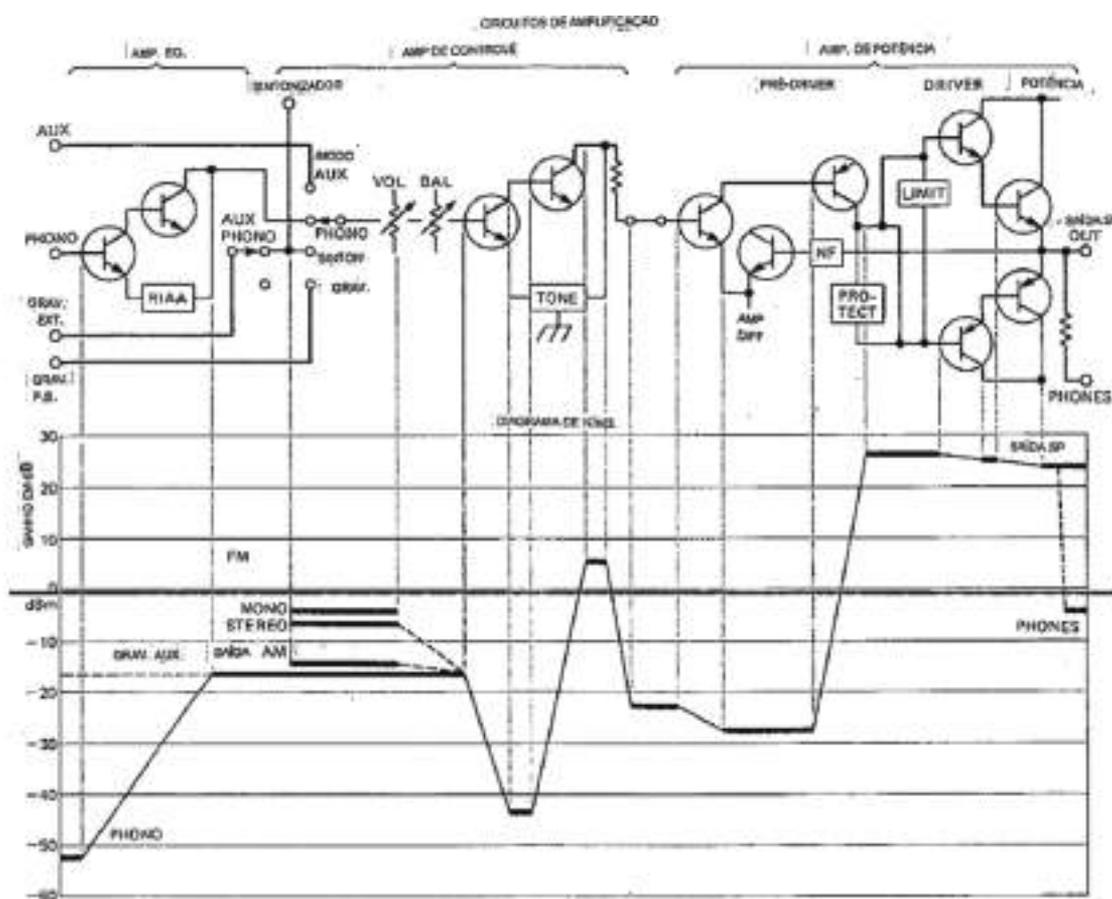


Figura 82 - Um diagrama de sinal para cada andar dum amplificador integrado.

Quando se procura um circuito com defeito, você pode encontrar mais do que uma peça avariada. Procure outras peças junto da peça avariada.

Substituição de peças e teste

Se a peça ou peças avariadas tiverem sido localizadas, consulte o manual de serviço do fabricante, para uma substituição correta. Lembre-se de que algumas peças (geralmente sombreadas no esquema) devem ser substituídas pelas peças exatas fornecidas pelo fabricante para reduzir o risco de incêndio e manter completa operacionalidade. Assegure-se de que utiliza boas técnicas de soldadura (solda com resina de alta qualidade). Reponha todas as peças e cabos na sua posição original. Se quaisquer transístores ou outras peças tiverem que ser retiradas, as quais estão presas com rebites, faça um furo através do rebite, com uma broca de diâmetro igual ao próprio rebite, como se mostra na Figura 83.



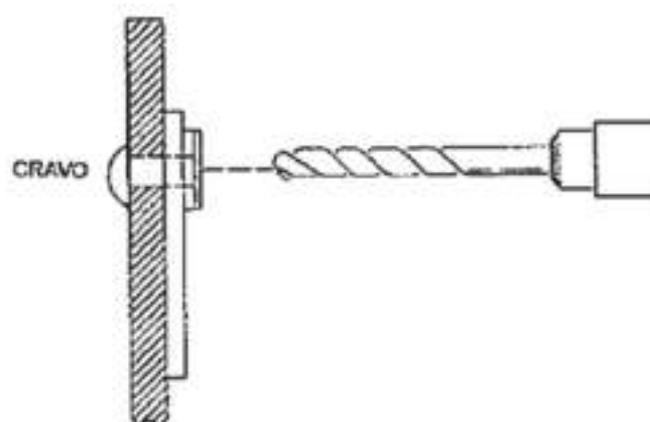


Figura 83 - Método de remoção de peças, as quais se encontram presas por rebites.

Quando substituir o driver ou transístores de potência, assegure-se de que está a utilizar transístores de substituição com a mesma gama beta para distorção baixa. A gama beta está geralmente codificada a cores no topo ou do lado do transístor. Se a gama beta não é conhecida ou se não está disponível, substitua os dois transístores do driver ou o estágio de potência por um conjunto de novos transístores associados.

Depois de substituir transístores ou díodos, a tensão da fonte de alimentação principal deve ser aumentada gradualmente, enquanto a corrente é verificada para determinar se os circuitos estão devidamente operativos. Podem existir outras peças avariadas, que não tenham sido ainda detetadas e que por isso iriam causar novas substituições de peças, porque poderiam aquecer rapidamente e avariar. Uma fonte de alimentação variável como a que se vê na Figura 84 permitirá que a tensão seja aumentada de 5 em 5V, a partir de 25V até à máxima potência. A corrente proveniente da fonte de alimentação variável para a fonte de alimentação do amplificador é medida enquanto se aumenta a tensão. Se a operação for normal, a corrente, sem sinais de entrada e o volume para baixo, deve ser de 2A ou menos para um pequeno ou médio amplificador a transístores. Se a corrente for superior a 2 amperes, a fonte de alimentação principal deve ser desligada, dado que ainda existe uma avaria nos circuitos. A busca deve continuar até que outras peças avariadas sejam encontradas e substituídas e a corrente seja reduzida para um nível normal.

A tensão de bias nos transístores do driver deve ser verificada e afinada com o amplificador a funcionar na sua capacidade máxima.





Figura 84 - Uma fonte de alimentação variável.

Fonte: Ver bibliografia

O funcionamento do amplificador também deve ser testado quanto a distorção, potência máxima, “hum” ou ruído e resposta de frequência, antes do amplificador ser devolvido ao cliente.

Problemas de interferência de ruído

O ruído pode ser um problema para um cliente, mesmo que você não encontre ruído durante os testes de equipamento na loja de reparações. O ruído pode ser causado por problemas de interferência na localização onde o equipamento áudio está a ser utilizado. Há muitas causas de ruído e grande parte delas relacionam-se com a interferência da frequência rádio (RFI). A RFI pode ser causada por motores elétricos, estações de TV, transmissores de CB ou transformadores de alta tensão. O ruído de interferência pode surgir mesmo em equipamento áudio de alta qualidade e pode ser eliminado por filtros ou outros métodos na fonte do problema. Contudo, pode nem sempre ser possível, encontrar a fonte ou anular a interferência. Por isso, a interferência pode ter que ser reduzida no sistema de som stereo.



O ruído de interferência pode ser reduzido por métodos externos ou por filtros internos no equipamento áudio. A redução do RFI externamente deve ser tentada, trocando grandes cabos áudio de ligação por pequenos, sempre que possível. A Figura 84 mostra um filtro simples para reduzir o RFI, que pode ser instalado num sinal de entrada, como phone, auxiliar ou entrada de gravação. Este modelo de filtro bloqueará a maior parte do RFI acima de 20kHz, o que de outra forma danificará os altifalantes de alta-frequência ou tornar-se-á retificada e produzirá um ruído áudio. Tente também cabos de altifalantes mais curtos ou blindados. Um pequeno condensador em paralelo com os terminais do altifalante pode ajudar a reduzir o ruído, mas tenha o cuidado de não usar um de grande capacidade ou a resposta de frequência pode também ser alterada. Se o RFI estiver a ser fornecido através duma linha AC de 230V, talvez se possa instalar um filtro aprovado entre a fonte de alimentação e o amplificador ou recetor.

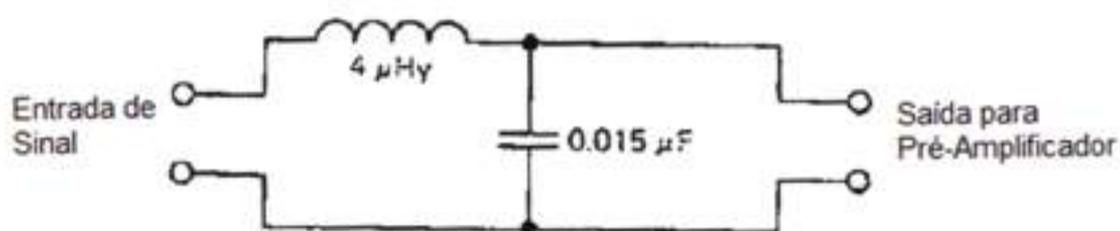


Figura 84 - Filtro para ser usado entre a fonte de sinal e a entrada do amplificador para o bloco RFI.

Podem ser necessárias correções internas se os problemas de RFI persistirem. Primeiro, procure más ligações de terra, maus pontos de solda, e condensadores eletrolíticos com muito uso, que possam ter desenvolvido uma grande resistência interna.

Se estas condições se verificarem ou estiverem bem, pode ser instalado um filtro de RFI. Muitos fabricantes de equipamento fornecerão filtros de RFI, se forem pedidos.

A Figura 85 mostra três filtros simples que podem ser instalados entre os andares do amplificador para reduzir RFI. O filtro de pi na Figura 85 (a) é o mais eficiente se o problema do RFI for sério.



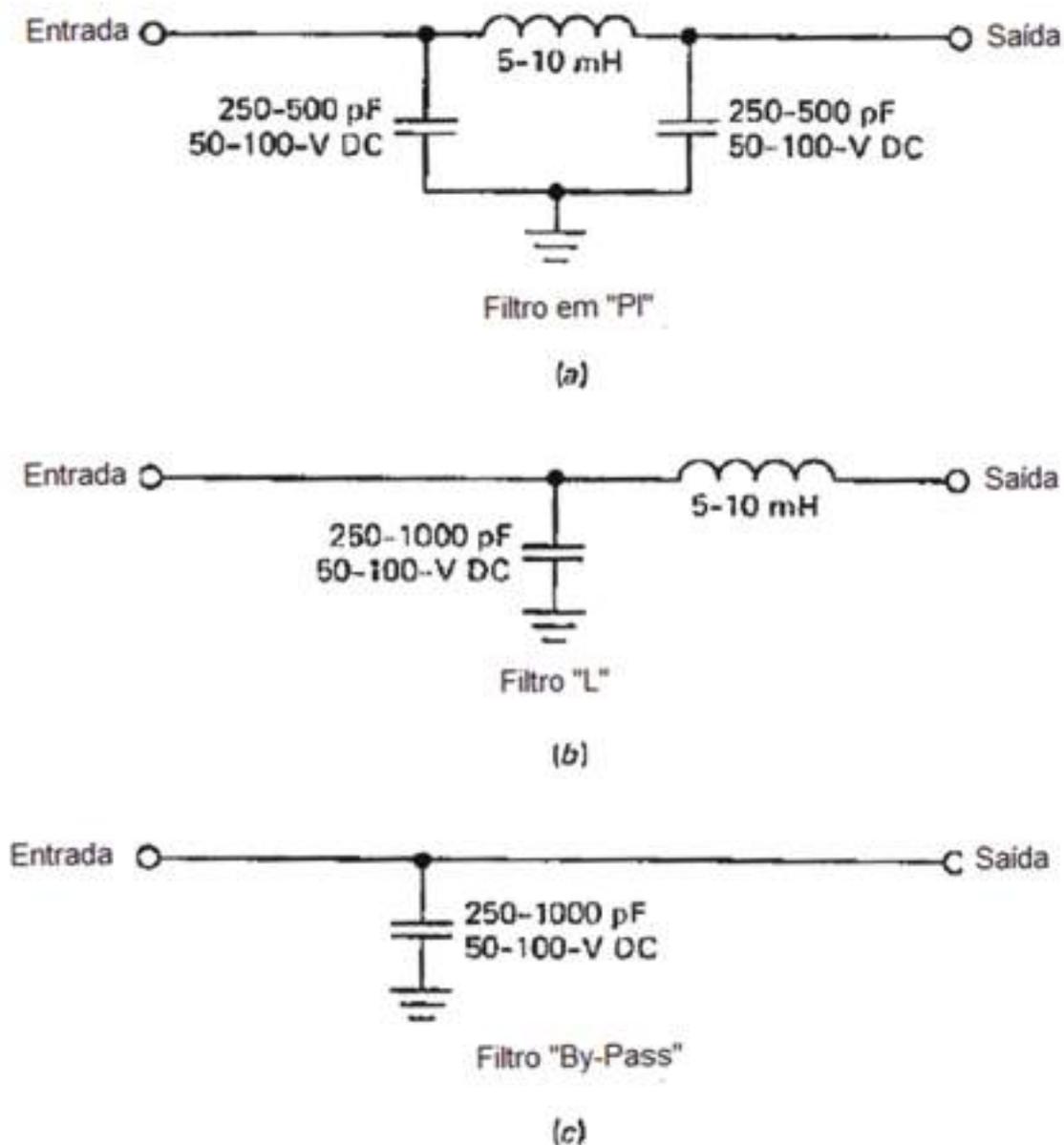


Figura 85 - Exemplo de três filtros para serem utilizados entre os andares do amplificador para os problemas de RFI.

A Figura 86 mostra duas redes de filtros simples que podem ser instaladas no circuito da fonte de alimentação, para bloquear RFI. O circuito na Figura 86 (a) é o mais simples de usar, mas o circuito de filtro na Figura 86 (b) é o mais eficiente para anular RFI através da linha de alimentação. Devem usar-se condensadores especiais afinados para pelo menos 280V AC rms a 50Hz, uma vez que os condensadores vulgares para corrente direta podem causar um mau funcionamento.



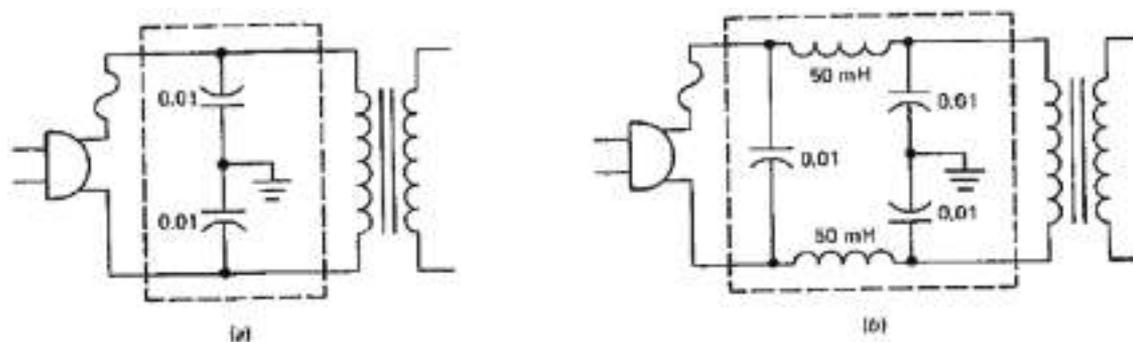


Figura 86 - Exemplo de 2 redes de filtros a serem utilizados nos circuitos de alimentação para reduzir os problemas RFI.

Sugerem-se os seguintes pontos na obtenção dos melhores resultados com os filtros:

1. Instale os filtros junto dos andares de entrada do amplificador e use o mais pequeno possível.
2. Use peças pequenas com cabos curtos.
3. São preferíveis os condensadores cerâmicos aos condensadores de papel.
4. Verifique a resposta de frequência do amplificador, após ter instalado um filtro para se assegurar de que o funcionamento não mudou.
5. Os chips de IC podem necessitar de um filtro nos terminais de entrada e saída.
6. O deck de gravação ou gira-disco pode necessitar dum filtro de RFI.
7. Não se esqueça de evitar ligações terra muito grandes.
8. Todos os componentes de filtro, através das linhas de alimentação devem ter a aprovação UL. Os condensadores devem ser afinados para 280V AC rms a 50Hz.

Teste de audição

Complete o seu serviço com um teste de audição. Os utilizadores de sistemas áudio ouvem atentamente a sua música. Muitas vezes aperceber-se-ão de pequenos problemas áudio que um técnico pode deixar passar, a menos que aprenda a ouvir com atenção. Até mesmo os medidores de distorção, ondas quadradas e outros instrumentos ajudá-lo-ão a descobrir um problema e a medir o funcionamento do amplificador, a sua audição ainda é um dos melhores testes ao funcionamento atual dum componente áudio, antes de o devolver ao cliente.



Perguntas de revisão

1. O primeiro passo para a reparação dum amplificador avariado é determinar o _____.
2. Geralmente usa-se um _____ como fonte de sinal para teste de audição.
3. Se o problema de som reside nos dois canais, o erro pode estar na _____.
4. No canal com avaria pode ser ligado o _____ para localização do andar avariado.
5. Durante a ligação, deve usar-se um condensador de $0.5\mu\text{F}$, para evitar _____.
6. Algumas peças devem ser substituídas por outras exatamente iguais ao fabricante para evitar _____.
7. Os transístores nos andares de _____ têm uma gama beta associada para baixa distorção.
8. Após a colocação dos transístores, o circuito pode ser testado durante os primeiros segundos, verificando o fluxo de corrente, enquanto se aumenta progressivamente a _____.
9. Podem verificar-se condensadores de que se suspeitem estarem avariados, utilizando com um _____.
10. Ao funcionamento do amplificador deve ser dada uma verificação final, fazendo um teste de _____, antes de devolver o amplificador ao cliente.



Em Resumo

O amplificador é constituído principalmente pela eletrónica tendo poucas peças mecânicas, sendo o seu rendimento geralmente de muito alta qualidade. Aumentam a potência dos sinais muito fracos e servem como um centro de controlo para o sistema de som estéreo. O amplificador é, em geral, o coração de todos os sistemas de som modernos.

Os amplificadores têm três secções principais: a fonte de alimentação, o pré-amplificador e o amplificador de potência.

O amplificador de potência também pode proporcionar a tensão d.C. de baixa tensão para o tuner, se o amplificador fizer parte dum recetor. A fonte de alimentação é comum em ambos os canais e deve ser muito bem controlado e filtrado, para evitar ruído, difonia ou distorção do som.

O pré-amplificador recebe os sinais de baixo nível (de 3 a 150mV) e impedância de cerca de 47 a 50k Ω de entrada. Os sinais phono passam através dum circuito de equalização para corrigirem o sinal de gravação, a fim de garantir a equalização (RIAA) padrão. A equalização das gravações é necessária para aumentar a duração da reprodução e reduzir o nível de ruído da superfície. O pré- amplificador também tem controlos de loudness para modificar os sinais graves e agudos, corrigindo a ineficácia auditiva em sinais de nível baixo. Os controlos de tonalidade são acrescentados para permitirem a cada cliente ajustar os sons graves e agudos, segundo os seus próprios gostos pessoais auditivos.

Os circuitos de filtro de “rumble” e de “scratch” têm uma rede de corte muito brusca, para reduzir rapidamente o nível de sinal a muito baixas e muito altas frequências. Os ruídos “rumble” e “scratch” são desagradáveis e podem possivelmente estar a danificar o sistema de colunas. O controlo de volume é utilizado para controlar o nível geral do som de saída. Quando o sinal de entrada é muito forte, contudo, o amplificador pode alcançar a sua relação de potência máxima de saída, antes que o controlo de volume atinja a sua posição máxima. O controlo de balanço do altifalante permite às saídas de canal da esquerda e direita serem ajustadas, para se obter um bom efeito estéreo.

O amplificador de potência tem quatro andares principais, andar de entrada, pré-driver, driver e andar de potência.



Utiliza-se o amplificador de entrada como auxiliar na regulação e estabilização do nível do sinal e redução de ruído dum circuito NFB. O estágio pré-driver acrescenta uma certa dose de bias aos transístores de drive para os manter em funcionamento no seu ponto de funcionamento.

Os transístores de driver são geralmente complementares e dispostos num circuito push-pull para alta eficiência e baixa distorção. Os transístores de potência também estão dispostos complementarmente e geralmente são utilizados numa configuração Darlington com os transístores de driver. Os transístores de driver estão dispostos aos pares, de acordo com a sua gama beta das características operativas e, como no caso dos transístores de potência, devem ser colocados aos pares, para o caso de um ficar avariado.

A qualidade de funcionamento dos amplificadores é geralmente muito elevada. Distorção é muitas vezes inferior a 0,1%, e a resposta de frequência é muito plana, quando em funcionamento normal.

Quando surge um problema, pode proceder-se a uma busca “passo-a-passo”, para identificar o problema, localizar o andar com defeito, detetar a peça defeituosa e fazer as necessárias reparações. Tanto os testes de funcionamento, como os testes de audição são utilizados para verificar o funcionamento do amplificador, após a reparação ter sido efetuada.

Teste de Avaliação Final

1. Como procede um Zéner para estabilizar a tensão?
2. Que peça da fonte de alimentação deve estar avariada se “hum” se tornar num problema de ruído?
3. Por que razão os decks de gravação possuem os seus próprios pré-amplificadores?
4. Por que razão a equalização é necessária?
5. Qual a finalidade dos condensadores de acoplagem entre os estágios de amplificação?



6. Qual a diferença de funcionamento entre o controle de ruído e o de tonalidade?
7. Como pode o “rumble” de baixa-frequência danificar um sistema estéreo?
8. Que aconteceria se a tensão de bias de drive se tornasse demasiado elevada?
9. Por que razão os transístores de saída são substituídos aos pares?
10. Qual é a diferença entre a distorção THD e IM?
11. Qual a finalidade do circuito NFB no amplificador de potência?
12. Em que difere a resposta de frequência dum largura de banda?
13. Em que é que o amortecimento de saída é importante?
14. Como pode um técnico testar a capacidade dum amplificador?
15. Qual a importância do tempo de subida do amplificador (slew-rate) na reprodução de um sinal?
16. O que é que provoca a mudança de fase ou a distorção de fase?
17. Em que é que a impedância do altifalante afeta a relação de potência?
18. O que é que provoca a distorção de cruzamento num amplificador?
19. Quando ocorre distorção limitadora?
20. Porque é que os circuitos de proteção são necessários no amplificador?



Teste de componentes eletrônicos com um multímetro

Medição e análise de resistências fora do circuito com um multímetro

Com um multímetro analógico

Se conhece o valor da resistência (através do código de cores ou do código alfanumérico) deverá selecionar o campo de medida imediatamente acima desse valor.

- Selecionar o campo de medida de resistências.
- Ligar as pontas de prova ao multímetro.
- Curto circuitar as pontas de prova e ajustar o zero.

(Sempre que mudar de campo de medida terá que ajustar o zero)

- Se a resistência sobre teste der 0Ω a resistência está em curto-circuito ou o campo de medida selecionado é muito superior ao valor da resistência a medir.
- Se a resistência sobre teste der ∞ (infinito) a resistência está em aberto ou o campo de medida selecionado é muito inferior ao valor da resistência a medir.

Com um multímetro digital

Se conhece o valor da resistência (através do código de cores ou do código alfanumérico) deverá selecionar o campo de medida imediatamente acima desse valor.

- Selecionar o campo de medida de resistências.
- Ligar as pontas de prova ao multímetro.
- Se a resistência sobre teste der 0Ω a resistência está em curto-circuito ou o campo de medida selecionado é muito superior ao valor da resistência a medir.
- Se a resistência sobre teste der ∞ (infinito) a resistência está em aberto ou o campo de medida selecionado é muito inferior ao valor da resistência a medir.



Cuidados complementares

Quando se pretender medir resistências de elevado valor (aproximadamente $1\text{ M}\Omega$ ou mais) não se deve tocar com as mãos nos terminais do componente, já que colocaremos a resistência elétrica própria do nosso corpo (que é elevada) em paralelo com a resistência que se está a medir o que falseará o resultado da medição.

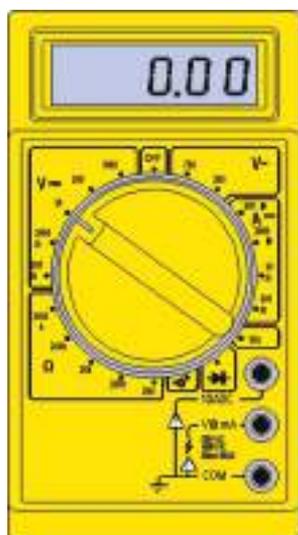


Medição e análise de resistências no circuito com um multímetro

Desligar o circuito.

Não utilizar o multímetro para medir resistências que se encontram inseridas num circuito sob tensão.

Se tiver que medir resistências que fazem parte de um circuito, é necessário antes, desligar o circuito.



Componentes em paralelo com a resistência a medir.

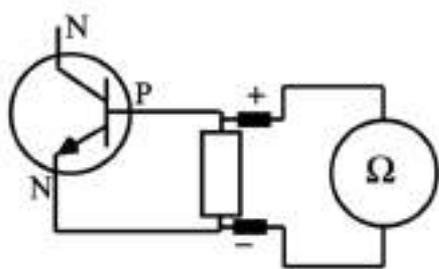
A medição de resistências num circuito pode ser problemática, já que frequentemente podem existir outras (resistências, indutâncias, transformadores, semicondutores) em paralelo com a que se quer medir.

Para combater o problema das resistências em paralelo deve-se desligar um dos terminais da resistência a medir.

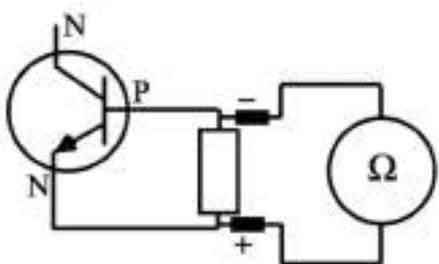
Junção PN em paralelo com a resistência a medir.

A maioria dos aparelhos de medida de resistências funciona com uma tensão de teste que é superior à tensão de polarização direta de uma junção PN de silício (0,6 - 1 V) ou de germânio (0,2 - 0,4 V).





Qualquer junção PN polarizada diretamente que esteja em paralelo com a resistência a medir pode colocar em derivação a referida resistência da junção PN e fornecer uma leitura baixa.



Um semiconductor polarizado inversamente (através das pontas de prova) ficará com uma resistência muito elevada e obtém-se assim uma leitura correta.

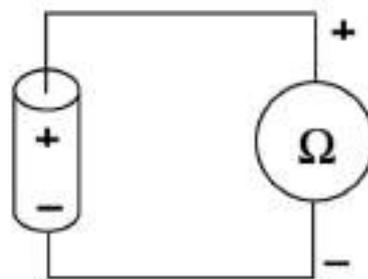
Medição e análise de condensadores com um multímetro



Se dispomos de um capacímetro ou de um multímetro digital com escala de capacidade, Se conhece o valor da capacidade (através do código de cores ou do código alfanumérico) deverá seleccionar o campo de medida imediatamente acima desse valor.

Se não dispomos de um capacímetro ou de um multímetro com escala de capacidade:

- Seleccionar o campo de medida de resistências.
- Ligar as pontas de prova do multímetro aos terminais do condensador. Respeitar a polaridade do condensador se for eletrolítico (de alumínio ou de tântalo).
- Se a resistência do condensador sobre teste der 0Ω o condensador está em curto-circuito.



- Se a resistência do condensador sobre teste der ∞ (infinito) o condensador está em bom estado (já que está a medir a resistência do dielétrico).

Para observar a carga do condensador

Ao ligar inicialmente o multímetro (como ohmímetro) é muito provável que se obtenha uma leitura baixa (da resistência) – carga do condensador → Corrente elevada, mas a resistência rapidamente subirá até um nível muito elevado (quando a tensão no condensador = tensão na fonte → $I = 0$ logo $R = \infty$).



O tempo que o condensador demora a carregar-se por completo depende:

- Da escala de resistência empregue (se a escala R é elevada → I é fraca → T de carga é grande).
- Do valor da capacidade do condensador ($C \uparrow \rightarrow T \text{ carga } \uparrow$).

Se o condensador tem:

$C \downarrow$ (centenas de nF ou menos) ⇒

Não importa a escala que se utiliza pois $R = \infty$.

Na realidade pode não existir um período apreciável de carga no caso dos condensadores de baixa capacidade.

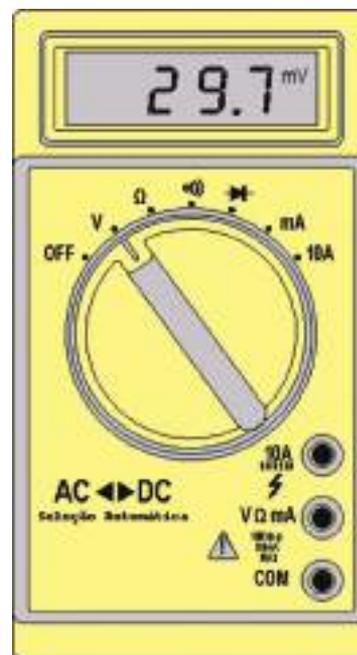
$C \uparrow \Rightarrow$ Utilizar uma escala de baixa resistência, para que o tempo de carga seja pequeno.



Medição e análise de díodos com o multímetro

Se o ânodo e o cátodo do díodo estão identificados

- Selecionar através do comutador rotativo do multímetro a posição de análise de junções PN ().
- Ligar as pontas de prova ao multímetro.
- Ligar a ponta de prova vermelha do multímetro (+ da pilha interna) ao ânodo (A) e a ponta de prova preta (- da pilha interna) ao cátodo (K). No display deverá aparecer um certo valor da resistência da junção PN.
- Ligar a ponta de prova vermelha do multímetro (+ da pilha interna) ao cátodo (K) e a ponta de prova preta (- da pilha interna) ao ânodo (A). No display deverá aparecer a indicação de resistência infinita.
- O díodo sob teste está em bom estado.



Se o ânodo e o cátodo do díodo não estão identificados

- Selecionar através do comutador rotativo do multímetro a posição de análise de junções PN ().
- Ligar as pontas de prova ao multímetro.
- Ligar a ponta de prova vermelha do multímetro (+) a um dos terminais e a ponta de prova preta (-) ao outro terminal.

Se no display aparecer um certo valor de resistência é sinal que estamos a polarizar diretamente a junção PN. Logo o terminal do díodo que entrou em contacto com a ponta de prova vermelha é o ânodo (A) e o terminal que entrou em contacto com a ponta de prova preta é o cátodo (K).

Se no display aparecer a indicação de resistência infinita é sinal que estamos a polarizar inversamente a junção PN. Logo o terminal do díodo que entrou em contacto com a ponta de prova vermelha é o cátodo (K) e o terminal que entrou em contacto com a ponta de prova preta é o ânodo (A).

- O díodo sob teste está em bom estado.



Medição e análise dos transístores com um multímetro

Colocar o comutador rotativo do multímetro na posição de análise de junções PN



Apenas para estas identificações podemos considerar o transístor como dois díodos em oposição.



Procedimentos:

1º Identificação da base: Devemos encontrar um par de terminais em que, medindo a resistência num e noutro sentido, esta seja muito elevada. Estamos em presença do Emissor e do Coletor (entre C e E díodos em oposição $R \equiv \infty$). Por exclusão de partes, o outro terminal é a base.

2º Transístor PNP ou NPN? Coloque a ponta de prova + ou – no terminal da base e a outra ponta de prova num dos outros terminais.

+ na base \Rightarrow se R é pequeno, temos polarização direta da junção \Rightarrow o transístor é NPN.

+ na base \Rightarrow se R é grande, temos polarização inversa da junção \Rightarrow o transístor é PNP.

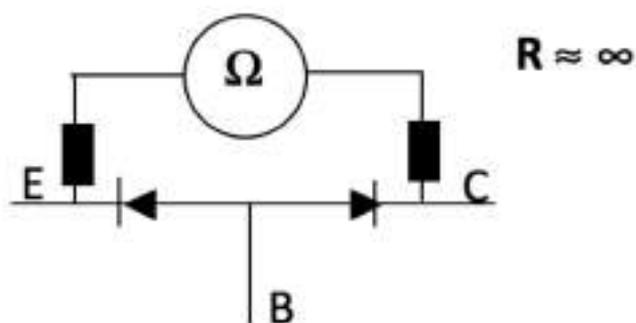
- na base \Rightarrow se R é pequeno, temos polarização direta da junção \Rightarrow o transístor é PNP.

- na base \Rightarrow se R é grande, temos polarização inversa da junção \Rightarrow o transístor é NPN

3º Identificar o Emissor e o Coletor: Entre o terminal de Base e qualquer um dos outros terminais medimos a resistência (no transístor NPN - positivo na Base, no PNP - negativo na Base). A resistência entre a Base e o Coletor é sensivelmente menor que a resistência entre a Base e o Emissor.

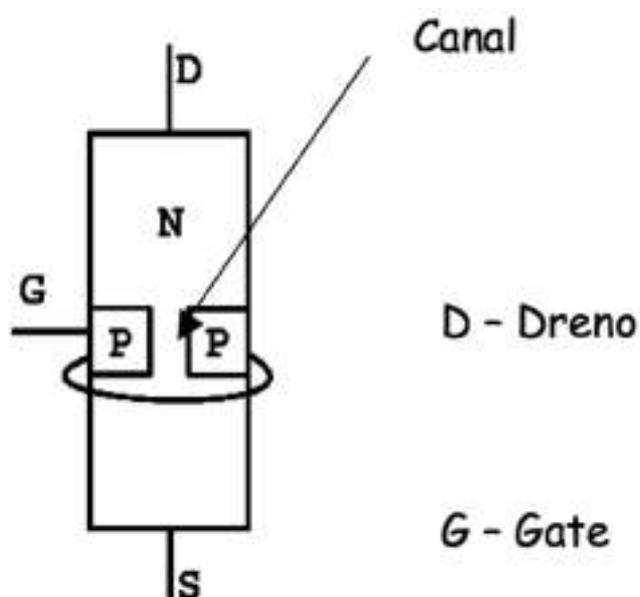
Teste de fugas: (A corrente de fuga de um transístor de silício é inferior a $1 \mu\text{A}$, no entanto, num transístor de germânio a corrente de fuga já é significativa).





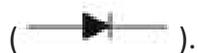
Análise de um JFet com um multímetro

Como verificar com um multímetro se um JFet está em bom estado.

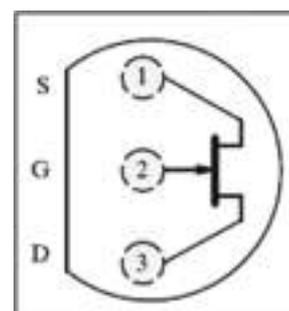


Vamos utilizar como exemplo o 2N3819 que é um JFet canal N.

1º. Colocar o comutador rotativo do multímetro na posição de análise de junções PN



2º. Colocar a ponta de prova positiva (vermelha) na Gate (G) e a ponta de prova negativa (preta) no Dreno (D) e na Fonte (S). O multímetro deve indicar uma certa resistência (junção PN canal/gate directamente polarizada).



3º. Colocar o comutador rotativo do multímetro na posição de medição de resistências.



4º. Colocar as pontas de prova com qualquer polaridade entre o Dreno (D) e a Fonte (S). O multímetro deve indicar uma certa resistência (que corresponde à resistência do material semiconductor do canal N que pode estar mais ou menos dopado).

Notas:

Se medir a resistência do canal e, depois de polarizar inversamente a junção PN canal/gate, tornar a medi-la poderá verificar que a resistência do canal aumentou (isto devido ao facto da polarização inversa da junção PN ter estreitado o canal devido ao aumento da zona de depleção).

Para um JFet canal P os procedimentos são idênticos tendo-se só que trocar as polaridades das pontas de prova.

Como testar um Circuito Integrado

Na verdade, cada circuito integrado é um circuito completo e não um componente. Assim, como já se percebe, o que se tenta testar é o circuito e não o componente. Não podemos testar um componente individualmente dentro do CI. Como cada circuito tem uma função diferente, não existe um circuito que teste todos. O que se pode fazer é montar um circuito de teste para um circuito integrado mais comum como o 555, 741, 4017, 7805, etc.

Teste do CI sem tensão

Caso a sua única ferramenta disponível seja um multímetro, faça o teste da seguinte maneira: Com o CI fora do circuito, coloque uma das pontas de prova no pino de terra do circuito integrado e com a outra ponta de prova, faça uma varredura em todos os pinos do integrado, um de cada vez. Em nenhum dos pinos o multímetro pode apresentar resistência zero. Caso apresente zero em algum pino, é provável que o circuito integrado esteja defeituoso.

Outro procedimento possível é a medida comparativa da resistência entre os terminais. Compara-se a resistência medida entre os terminais do CI suspeito com um CI bom. Se encontrarmos diferenças, o componente está com defeito.

Estes testes são incompletos, a maneira correta de se testar um circuito integrado é usar o seu datasheet e um osciloscópio.



Teste do CI com tensão

Outro procedimento consiste na medida das tensões no CI em funcionamento.

Podemos efetuar um teste básico medindo o CI pelo pino VCC e terra. Veja no datasheet qual a tensão nominal e confira com os resultados obtidos no multímetro.

Teste do CI no circuito

Para testar somente o circuito integrado, tente isolá-lo dos outros componentes do circuito antes de efetuar a medição. Se isso não for possível, antes de testar o CI teste antes todos os componentes que estão ligados a ele, como resistências e condensadores, além da continuidade das pistas ou da solda destes componentes.



Trabalhos Laboratoriais – Pesquisa Avarias

Trabalho Laboratorial n.º1 – Verificação de um Amplificador em Emissor Comum

Monta o seguinte circuito da figura 87 numa breadboard ou numa placa de circuito impresso com a ajuda do teu professor.

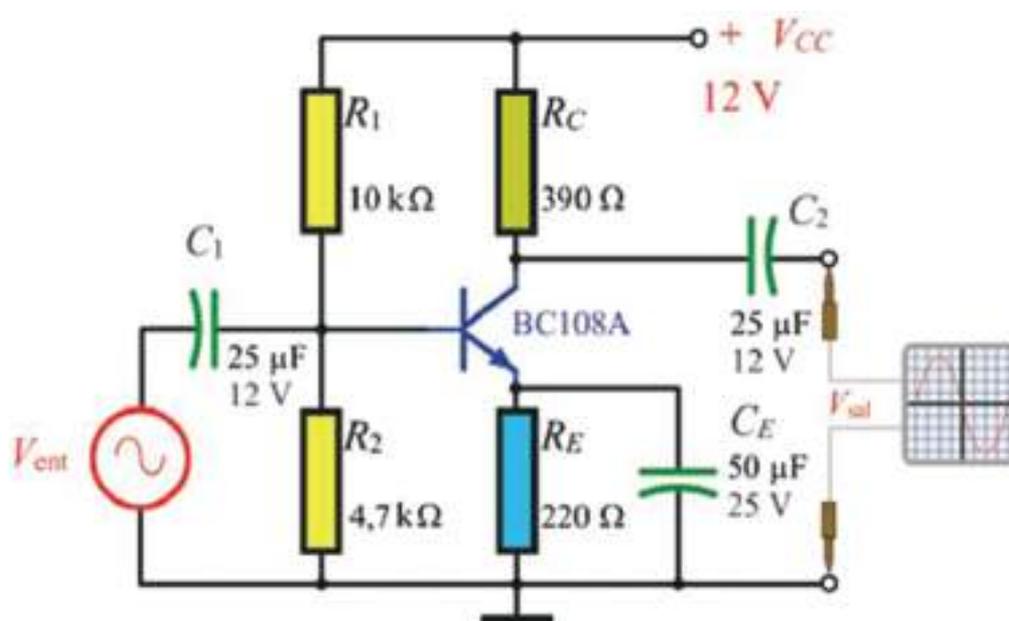


Figura 87 – Exemplo de um amplificador em emissor comum.

- Antes de efetuar a verificação experimental do circuito, determina teoricamente os seguintes valores que existem no circuito: V_B , V_C , V_E e V_{CE} assim como o ganho de tensão com o condensador by-pass e sem ele.
- Seguidamente comprova mediante o uso de um multímetro, se os valores calculados anteriormente, de uma forma teórica, coincidem aproximadamente com os resultados obtidos pelas medidas obtidas no circuito.
- Uma vez feito isto, mediante o uso de um gerador de sinais, injeta na entrada do amplificador um sinal sinusoidal de baixo nível de 1kHz. Com o osciloscópio, visualiza



o sinal de saída no canal B e a entrada no canal A. Ajusta o nível do sinal entrada no gerador de sinais até obteres um sinal de saída sem distorção.

- d) Agora, desenha as ondas obtidas, analisando o desfasamento entre as ondas de entrada e saída. Determina o ganho em tensão. Retira o condensador de by-pass e analisa o efeito produzido no ganho.
- e) Com a ajuda do teu professor, caso não tenhas obtido valores coincidentes de grandezas, tenta verificar as possíveis avarias no circuito e solucioná-las.

Trabalho Laboratorial n.º2 – Localização e reparação de avarias num amplificador

É apresentado na figura 88 o esquema elétrico de um amplificador por forma a verificar-se possíveis avarias no mesmo.

Monta o seguinte circuito numa breadboard ou numa placa de circuito impresso com a ajuda do teu professor, e segue os seguintes passos:

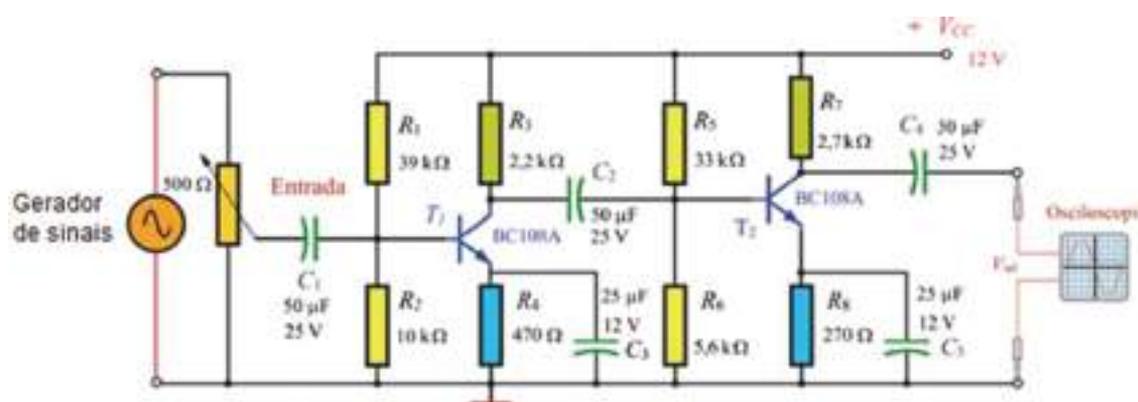


Figura 88 – Exemplo de um amplificador para análise de avarias.

- a) Conecta na entrada um gerador de sinais de B.F com um nível de sinal médio (aquele que não chegue a saturar o amplificador) e uma frequência de 1kHz.
- b) Mede com o osciloscópio o sinal na base, coletor e emissor dos transístores T_1 e T_2 .



- c) O amplificador encontrar-se-á sem avarias se encontrarmos um sinal de 1kHz em:
- Base de T1 a baixo nível.
 - Coletor de T1 com um nível mais alto que na sua base, devido ao ganho do transistor.
 - Emissor de T1 com um nível inferior a 100% do coletor.
 - Base de T2 com o mesmo nível que no coletor T1.
 - Coletor de T2 com mais nível do que na sua base.
 - Emissor de T2 com um nível inferior ao seu coletor.
- d) Neste caso, se o circuito estiver avariado em algum ponto, o sinal desvanecerá no mesmo. Assim por exemplo, se o sinal chega à base de T2 mas não aparece no coletor do mesmo, está claro que o componente avariado é o transistor T2. No caso haverá a necessidade de comprovar o seu funcionamento mediante um voltímetro. Se o transistor estiver em bom estado, existirá a necessidade de analisar os valores das resistências de polarização.
- e) O processo que foi seguido e descrito na alínea d) para a localização de avarias é igualmente válido para outros circuitos mais complexos.

Trabalho Laboratorial n.º3 – Amplificador de potência em classe AB - Montagem, localização e reparação de avarias

Objectivo: Montar e testar o funcionamento do amplificador em questão e encontrar possíveis avarias (caso surjam)

Procedimento: Monte o esquema de um amplificador abaixo indicado.

Nota: Tenha em atenção à pinagem dos transistores, pois estes são diferentes.



Esquema:

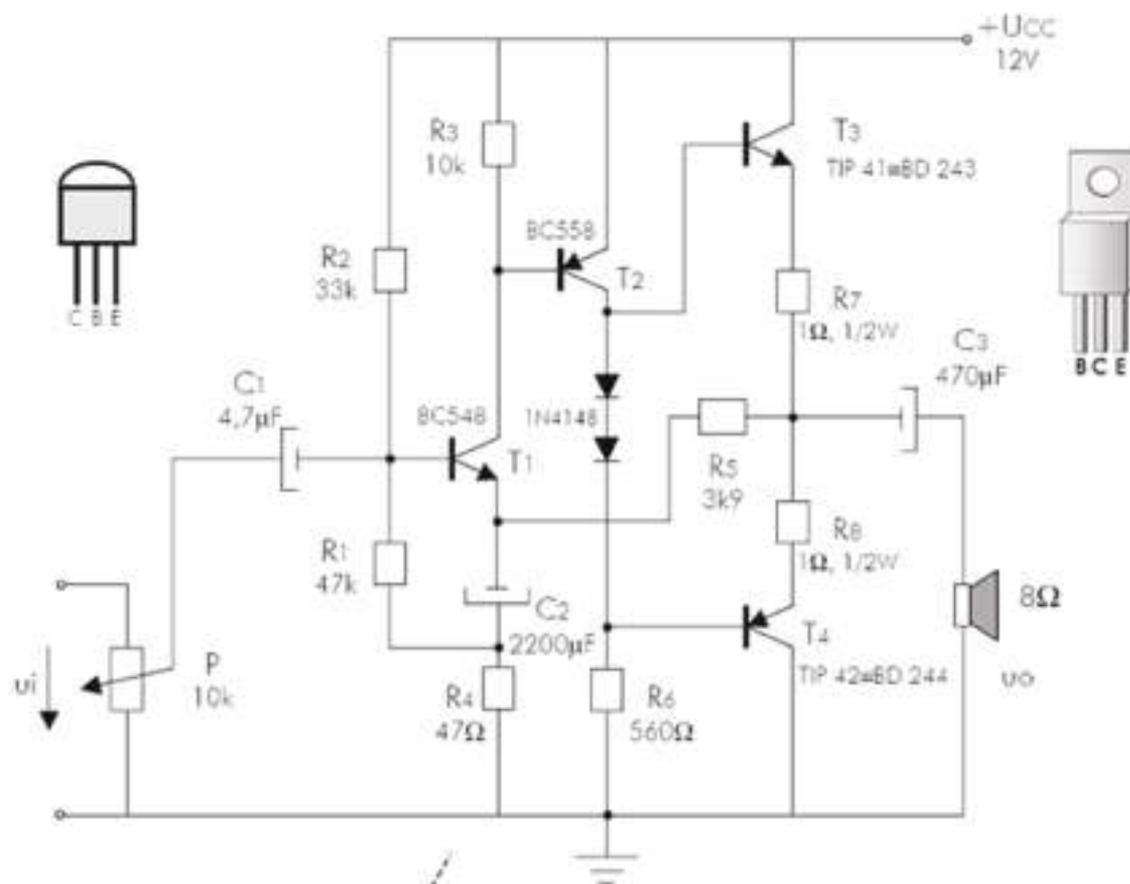


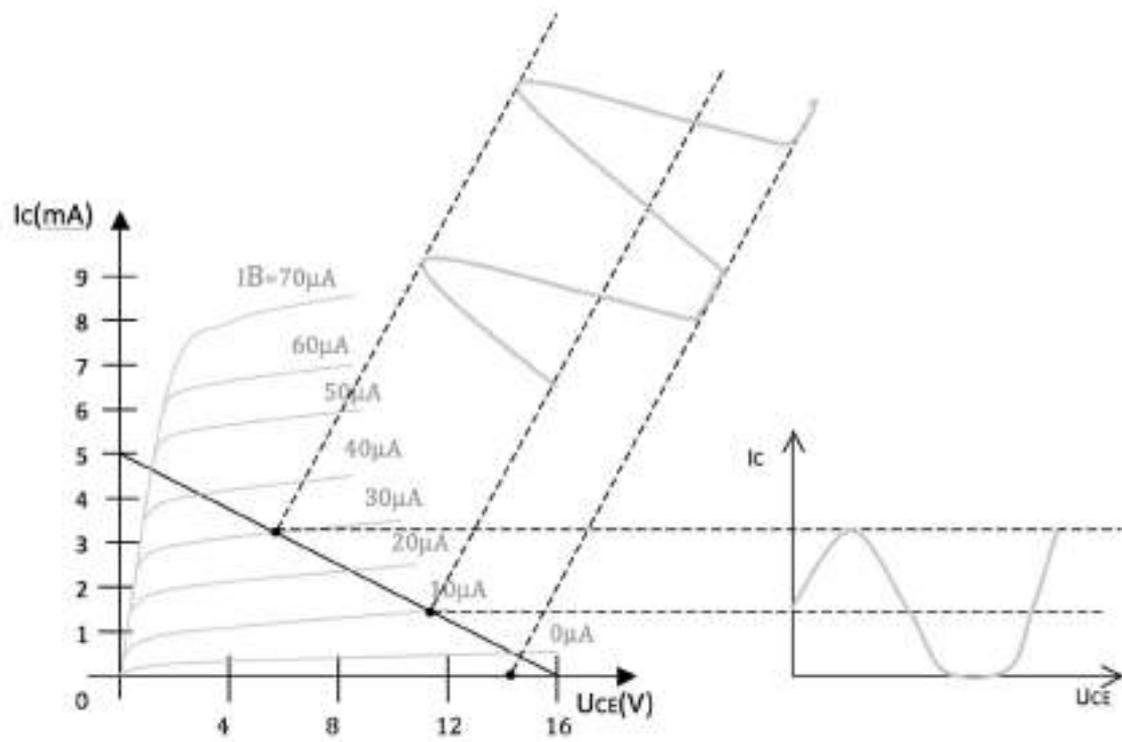
Figura 88 – Exemplo de um amplificador em classe AB.

- Monte o circuito da figura Figura 88 numa breadboard ou numa placa de circuito impresso.
- Verifique com um multímetro e osciloscópio todos os sinais do circuito. Identifique com a ajuda do professor possíveis avarias.

Notas:

- Este amplificador de potência, utilizando apenas transistores bipolares, pode ser utilizado na amplificação de sinais provenientes de sistemas de som.
- O funcionamento em classe AB corresponde a fazer funcionar cada elemento amplificador durante mais de meio período, mas menos do que um período, apresentando um rendimento e uma distorção maiores que em classe A, mas menores que em classe B.





Bibliografia

Manual de Áudio – ESTEL.

Vassalo, Francisco Ruiz – Radio – Edições CEAC.

Áudio assistência - Teoria e Prática, de ANDA J. WELLS.

<http://www.batera.com.br/contents/artigos/5b71bc14-1a3d-4117-a600-767d88860959.jpg>

http://musicaeadoracao.com.br/recursos/imagens/tecnicos/sonorizacao/mic_padrao.gif

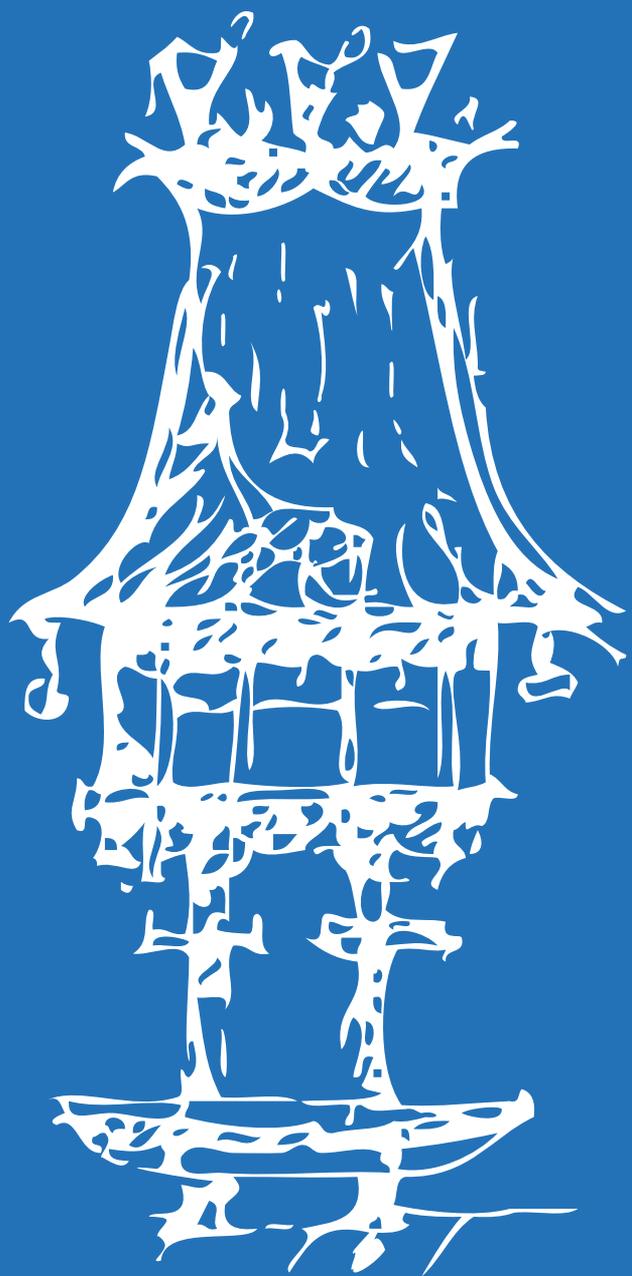
http://www.hunion.com.br/imagens/hunion.com.br/produtos/Transformador_6000_3.jpg

http://dc254.4shared.com/doc/JkXjkJBQ/preview_html_546dfcf7.png

http://macao.communications.museum/images/exhibits/2_16_0_7_por.png

http://cdn.clickplus.pt/product_images/FAVL4_Fonte-alimentacao-dupla-regulavel-030V-03A_2.jpeg







Sintonizadores

Módulo 10

Apresentação

Este módulo tem carácter teórico – prático devendo por isso decorrer em ambiente laboratorial de modo a que os alunos possam analisar, ensaiar e ajustar equipamentos sintonizadores de áudio.

Esta disciplina tem como intenção tornar o aluno apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos desta e das outras disciplinas técnicas e também na comunicação adequada com os profissionais da área.

Introdução

A abordagem deste módulo sobre sintonizadores leva-nos a uma melhor compreensão do funcionamento de vários tipos de aparelhos, que incorporam circuitos que utilizam estas características, por forma a analisar, ensaiar e ajustar equipamentos sintonizadores de áudio.

Este módulo requer um conhecimento básico de eletrónica.

Objetivos de aprendizagem

- Definir ruído.
- Identificar diferentes tipos de ruído.
- Explicar o significado da relação S/N.
- Descrever os vários processos de modulação.
- Identificar as diferentes formas usadas para a desmodulação.
- Conhecer a especificidade do andar amplificador AF.
- Descrever o esquema de blocos de um recetor de rádio.
- Descrever as principais características dos blocos sintonizador, FI, desmodulação FM e Estereofonia.
- Descrever o princípio de funcionamento do sistema RDS.



Âmbito de conteúdos

- Ruído
- Modulação
- Desmodulação
- O andar AF.
- Recetor super-heterodino.
- Sintonizador
- FI
- Desmodulação FM.
- Estereofonia
- Recetor de radio e medições.



Ruído

Introdução

A Distorção, em Sistemas de Comunicação, pode ser entendida como uma ação que tem como objetivo modificar as componentes (frequência, fase e amplitude) originais de um sinal.

A Distorção pode ser causada por fatores de origem interna (Banda passante do canal limitada), e externa tais como: Ruídos, Atenuação e Ecos.

O Ruído pode ser definido como todo e qualquer tipo de interferência externa que é exercida sobre um sinal por forma a distorcê-lo. Esta é como uma relação entre a potência do sinal e a potência do ruído, a qual é denominada razão Sinal/Ruído (S/N).

Sendo assim, uma razão de 10 equivale a 10 dB, uma razão de 100 equivale a 20 dB, uma razão de 1000 equivale a 30 dB, e assim por diante. Costuma-se utilizar a representação na forma de decibel (dB) cujo valor é dado por $10 \times \log_{10} (S/N)$.

Se a amplitude A for suficientemente grande em relação à amplitude do ruído, o recetor ainda é capaz de distinguir corretamente entre os dois pulsos.

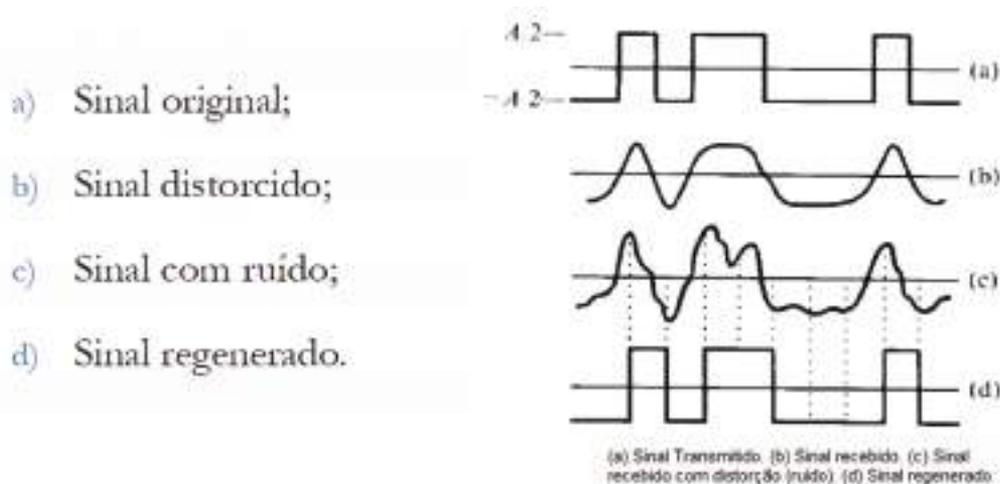


Figura 1 – Análise de sinais com e sem ruído.

Se a amplitude do sinal for muito maior do que a amplitude do ruído (de 5 a 10 vezes), a probabilidade de haver um erro de receção é menor do que 10^{-6} , ou seja, em média, o recetor cometerá menos de 1 erro em cada 1 milhão de pulsos. O efeito do ruído aleatório



do canal e a distorção são praticamente eliminados. Dessa forma, quando um sinal analógico é transmitido de modo digital, podemos considerar que o único erro associado a ele está na quantização, no entanto, este erro pode ser tão reduzido quanto for desejado.

O uso de repetidores permite que um sinal digital possa ser transmitido a longas distâncias. No entanto, para que isso possa acontecer torna-se necessário aumentar a largura de banda.

Teorema de Shannon

Em 1948, Claude Shannon, a partir de uma série de estudos, com base no teorema de Nyquist, provou matematicamente que um canal possui uma capacidade de transmissão limitada. No entanto, as suas pesquisas consideraram a atuação de um ruído branco (ruído térmico).

Shannon provou que a capacidade máxima C de um canal cuja largura de banda é dada por W Hz e está sujeito a um ruído dado pela razão S/N , pode ser expressa da seguinte forma:

$$C = W \times \log_2 (1 + S/N) \text{ bps}$$

É de salientar que este é um limite máximo teórico, e que na prática, é bastante complicado aproximar-se dele. Muito embora não se consiga atingir este limite no mundo real é impossível ultrapassá-lo, ou seja, considerando que ele seja alcançado fisicamente, ao ser ultrapassado não se pode mais recuperar a informação original.

Teorema de Shannon - Exemplo

Numa linha telefónica num canal com largura de banda de 3000 Hz e cuja razão sinal-ruído é 30 dB, qual será a taxa de transmissão máxima desse canal?

Teorema de Shannon - Resolução

Sabendo-se que a razão sinal-ruído (S/N) pode ser dada pela relação em decibel temos:

$$X \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/N)$$

$$30 \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/N)$$

$$\log_{10}(S/N) = 3$$



$$10^{\log_{10}(S/N)} = 10^3$$

$$S/N = 1000$$

Substituindo S/N na seguinte fórmula, vem:

$$C = W \cdot \log_2(1 + S/N)$$

$$C = 3000 \cdot \log_2(1 + 1000)$$

$$C = 3000 \cdot (\log_{10}1001 / \log_{10}2)$$

$$C = 3000 \cdot (3/0,3)$$

$$C = 30000 \text{ bps}$$

Problemas relacionados com a Transmissão de Dados

Os problemas associados à transmissão de dados são:

- Ruídos;
- Atenuação;
- Distorção por atraso;
- Ecos.

Classificação dos Ruídos

Os Ruídos podem ser classificados em quatro tipos, a saber:

- Ruído Térmico;
- Ruído de Intermodulação;
- Crosstalk;
- Ruído Impulsivo.

Ruído Térmico

O Ruído Térmico é aquele que é provocado pela agitação dos elétrons nos condutores metálicos e pode ser encontrado em todos os dispositivos eletrônicos.

Este tipo de ruído tem como característica estar presente em todo o espectro de frequência e, por esta razão, também é conhecido como ruído branco. A sua intensidade será tanto maior quanto maior for a temperatura do meio de transmissão.



Ruído de Intermodulação

O Ruído de Intermodulação ocorre quando sinais de diferentes frequências compartilham o mesmo meio físico (multiplexação em frequência). Este fenômeno pode gerar um sinal em uma dada faixa de frequência que porventura interfira na transmissão de um outro sinal da mesma faixa.

Isto pode acontecer devido a componentes defeituosos ou por causa de sinais com potência muito alta.

Ruído Impulsivo

O Ruído Impulsivo é oriundo de fontes externas que provocam um impulso de energia muito intenso e, em geral, de curta duração. Trata-se de um tipo de ruído não contínuo, com grandes amplitudes e de difícil prevenção

Este ruído pode ser provocado por diversos tipos de fontes, desde distúrbios elétricos externos a falhas em equipamentos. Até mesmo o facto de se retirar uma lâmpada ligada pode causar tal fenômeno. Normalmente o ruído impulsivo é pouco prejudicial a uma transmissão analógica (exemplo: corte temporário em uma transmissão de voz). Em transmissão digital, este ruído é o maior causador de erros.

Ruído - Crosstalk

O Crosstalk é um ruído que é causado pela interferência entre canais vizinhos de comunicação. O sinal que é transmitido num meio gera uma perturbação sobre um outro que esteja nas suas proximidades

Este tipo de ruído será tanto maior quanto maiores forem as proximidades entre os condutores, a amplitude dos sinais e as frequências dos mesmos. Um exemplo deste tipo de ruído é o de “linha cruzada” ocorrido em sistemas de telecomunicações, onde uma ligação é interferida por uma conversa de terceiros.



Perguntas de revisão

1. O que entende por ruído?
2. Identifique e caracterize os diferentes tipos de ruído.
3. Explique qual o significado da relação S/N.
4. O que entende por Ruído de Crosstalk?
5. Numa linha telefónica num canal com largura de banda de 3000 Hz e cuja razão sinal-ruído vale 05 dB, qual será a taxa de transmissão máxima desse canal?
6. Se pretendermos efetuar a transmissão de um sinal a longas distâncias, o que se deverá utilizar e o que fazer?
7. O que diz o teorema de Shannon?



Modulação

Introdução - Modulação

Os sinais de informação nem sempre podem ser transmitidos diretamente no meio em que se irão propagar. Isso deve-se ao fato de a sua faixa de frequência nem sempre ser adequada ao meio físico.

A modulação é uma técnica que permite modificar um sinal de características conhecidas, de forma que ele seja capaz de carregar informações.

Tipicamente, este sinal de características conhecidas é chamado de portadora e o sinal resultante (que vai ser colocado no meio físico pelo emissor) é conhecido por sinal modulado.

Em suma, o processo de modulação consiste numa operação realizada sobre o sinal ou dados a transmitir e que produz um sinal apropriado para a transmissão sobre o meio de transmissão em causa. A escolha da técnica de modulação permite “moldar” as características do sinal a transmitir e adaptá-lo às características do canal.

Uma portadora é uma onda sinusoidal de alta frequência, em que um de seus parâmetros (amplitude, frequência ou fase) é variado de acordo com o sinal em banda básica. Tem-se portanto, modulação de amplitude (AM), modulação de frequência (FM) ou modulação de fase (PM).

A partir do conhecimento da portadora original e de suas características, é possível ao recetor descobrir que informações foram codificadas na mesma, e assim recuperá-las, tornando a comunicação possível.

Para produzir uma onda eletromagnética que seja capaz de transmitir-se a larga distância necessitamos de aplicar a uma antena de emissão, uma corrente alternada de suficiente frequência (acima dos 30 kHz aproximadamente).

As ondas eletromagnéticas são da mesma natureza da luz e propagam-se com facilidade pelo ar e no vazio a uma velocidade de 300.000 km/s. Na Figura 2 é apresentado de uma forma simplificada como seria o sistema de emissão e recepção de um sistema de comunicação por rádio.



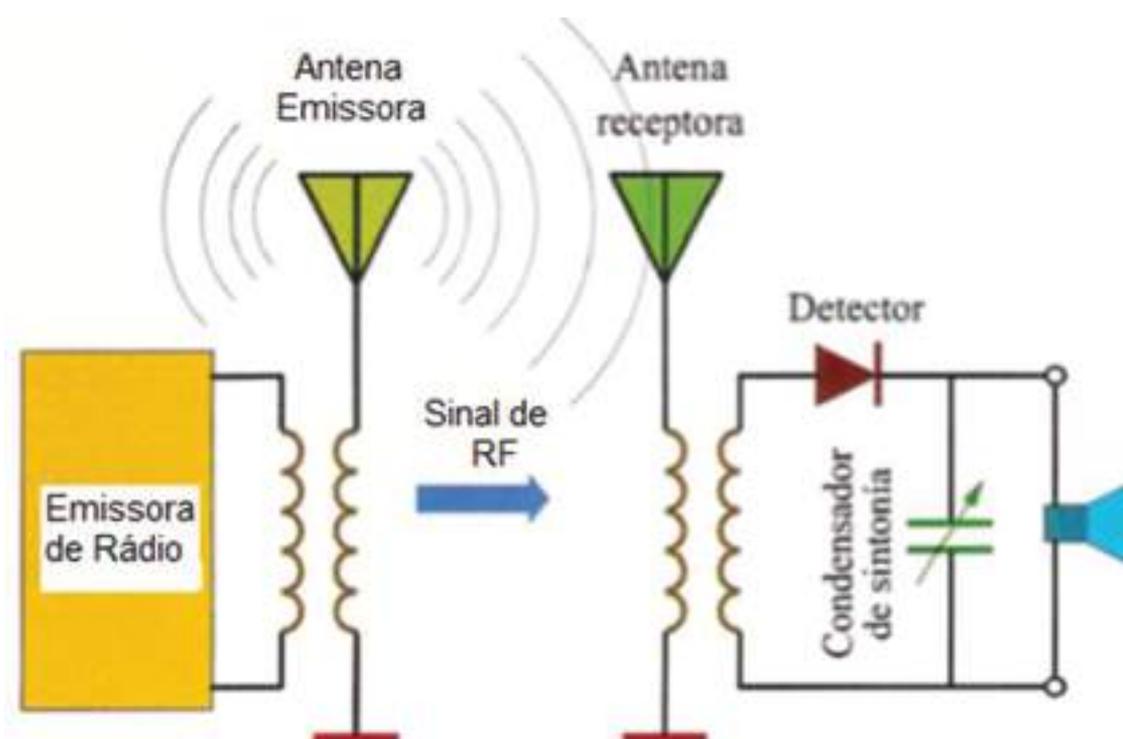


Figura 2 - Sistema de comunicação por radio.

Neste caso, a estação é responsável por coletar as informações transmissíveis (sinais de áudio transformados em sinais elétricos de uma determinada frequência) e mediante circuitos de modulação adequados gera um sinal de alta frequência que é aplicado a uma antena mediante um transformador.

A antena é constituída por um condutor com um determinado comprimento e é especialmente construída para emitir ou receber facilmente as ondas eletromagnéticas. Quando a corrente alternada de alta frequência percorre o condutor de antena, produz-se um campo eletromagnético variável da mesma frequência. Isto faz com que produza uma onda eletromagnética que se irradia em todas as direções.

Se essas ondas eletromagnéticas lançadas ao espaço cortam o condutor de uma antena de recepção, é induzida uma força eletromotriz (processo semelhante ao que ocorre num transformador), que interpreta o sinal elétrico emitido pela estação de montagem e antena de transmissão.

Naturalmente, quanto mais longe estiver da antena de emissão, mais pequeno será o sinal recebido. Esse sinal apresenta geralmente valores na ordem dos microvolts.



Modulação de amplitude

O rádio, a televisão e muitos outros sistemas eletrônicos seriam impossíveis sem a modulação, que diz respeito a um sinal de baixa frequência (tipicamente um sinal de áudio), controlando a amplitude, frequência ou fase de um sinal de alta frequência (geralmente uma frequência de rádio).

Quando um sinal de áudio é aplicado a uma portadora obtém-se como produto a soma da frequência aplicada e da portadora e obtém-se a diferença entre as duas. Dessa forma são geradas as duas bandas laterais, inferior e superior.

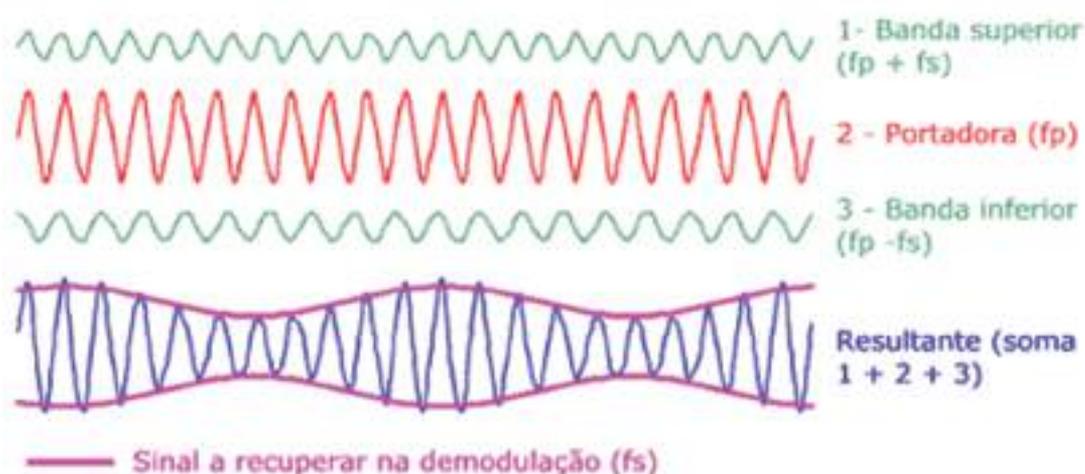


Figura 3 - Modulação de amplitude (AM): Bandas laterais

Quando um sinal de baixa frequência controla a amplitude de um sinal de alta frequência, temos uma modulação de amplitude (AM – amplitude modulation). A figura 4 (a) mostra uma modulação simples. Um sinal de alta frequência V_x está na entrada do potenciômetro. Portanto, a amplitude de V_{out} depende da posição do cursor. Se movermos o cursor para cima e para baixo, a forma de onda V_{out} parece-se com a da figura 4 (b).

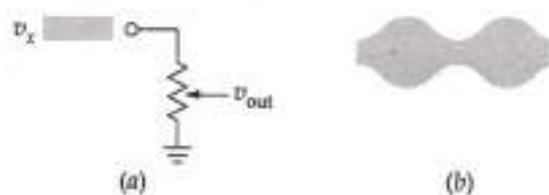


Figura 4 - Modulação de amplitude.



Amplificador modulador de RF

A figura 5 mostra um exemplo de um estágio modulador de RF. O sinal da onda portadora V_x é a entrada do amplificador EC. O circuito amplifica a onda portadora de um factor A, para que a saída é:

$$U_o = A \times U_i$$

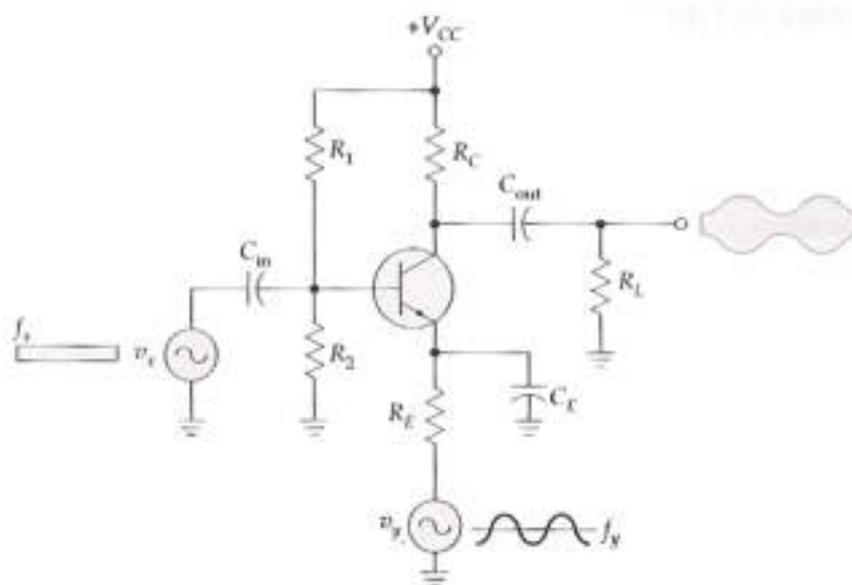


Figura 5 - Amplificador modulador de RF.

O sinal modulador V_y é parte da polarização. Portanto, ele introduz variações de baixa frequência na corrente de emissor, o que produz variações na R e ganho A. Por este facto, o sinal de saída amplificado parece-se com a forma de onda AM da figura abaixo, na qual os valores de pico da saída variam com a modulação do sinal V_y .

Para uma operação normal, o circuito da figura deve ter uma tensão de entrada pequena, isto porque, não deverá ser a entrada a controlar o ganho em tensão mas sim, o sinal modulador. Este sinal deve ser suficientemente grande para alterar o ganho em tensão. Assim teremos, variações sinusoidais na onda de entrada, que equivalem à forma de onda AM pretendida.

De seguida é apresentado um esquema típico de um transmissor de AM.



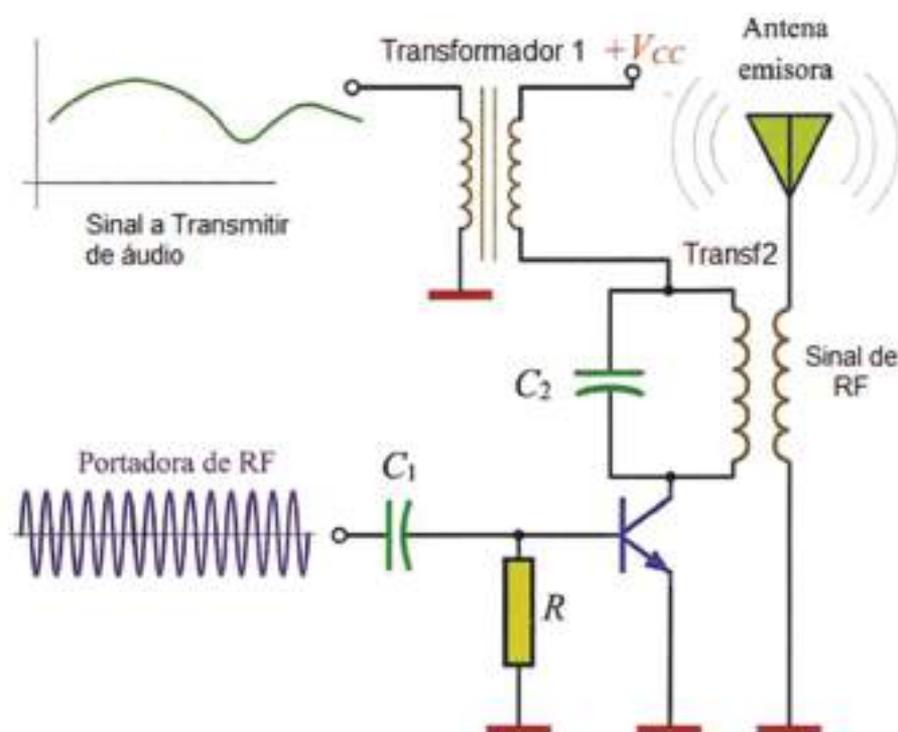


Figura 6 - Circuito básico de um modulador de amplitude.

Modulação percentual

Idealmente, um sinal de modulação sinusoidal produz uma variação sinusoidal do ganho de tensão, que é expressa por:

$$A = A_0 \cdot (1 + m \cdot \text{sen} \cdot 2\pi \cdot f_y \cdot t) \quad (1)$$

Onde:

A - ganho de tensão instantâneo

A_0 - ganho de tensão de saída

m - coeficiente de modulação

À medida que a função seno varia entre -1 e $+1$, o ganho de tensão varia sinusoidalmente entre $A_0 \cdot (1-m)$ e $A_0 \cdot (1+m)$. Por exemplo, se $A_0 = 100$ e $m = 0,5$, o ganho de tensão varia sinusoidalmente entre um ganho de tensão mínimo de:

$$A_{\text{min}} = 100 \cdot (1 - 0,5) = 50$$

e um ganho em tensão de:

$$A_{\text{max}} = 100 \cdot (1 + 0,5) = 150$$



Na equação (1), m controla a quantidade de modulação. Quanto maior for m, maior será a variação no ganho em tensão. A modulação percentual é tipicamente utilizada para medir a quantidade de amplitude:

$$\text{Modulação percentual} = m \times 100\%$$

Se m for 0,5, o percentual de modulação será de 50%. Quando m for de 0,9, o percentual de modulação será de 90%. De seguida veremos uma forma de medir m.

Dado um sinal AM como o da figura 7 (a), a tensão de pico a pico máxima é de $2V_{\text{máx}}$ e a mínima é de $2V_{\text{mín}}$. Esses valores de pico a pico estão relacionados com m por meio da seguinte expressão:

$$m = \frac{2 \cdot V_{\text{máx}} - 2 \cdot V_{\text{mín}}}{2 \cdot V_{\text{máx}} + 2 \cdot V_{\text{mín}}}$$

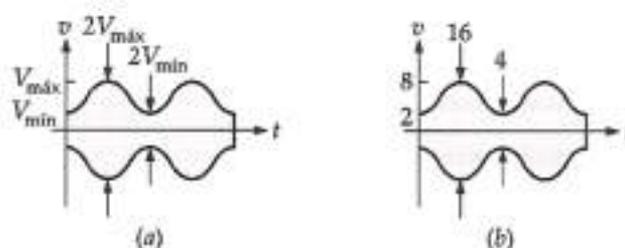


Figura 7 - Sinal AM.

Atribuindo valores a $2V_{\text{máx}}$ e a $2V_{\text{mín}}$, figura 7 (b):

$$m = \frac{16 - 4}{16 + 4} = 0,6$$

O que equivale a:

$$\text{Modulação percentual} = 0.6 \times 100\% = 60\%$$

Modulação de frequência

Quando um sinal de modulação controla a frequência da onda de entrada, temos uma modulação de frequência (FM – frequency modulation). Esse tipo de modulação é utilizado em rádio FM e também pela parte de áudio do sinal de televisão. A maior vantagem da FM sobre a AM é o menor ruído.



Quando a informação é transmitida de uma estação de rádio FM, a imagem elétrica do sinal sonoro, obtida a partir de um microfone, é usada para modular a frequência da onda transportadora transmitida a partir da antena da estação de rádio.

A banda FM do espectro eletromagnético está compreendida entre os 88MHz e os 108MHz e as ondas transportadoras para estações individuais são espaçadas de 200 kHz, para um máximo de 100 estações. Estas estações FM possuem um desvio máximo de 75kHz da frequência central, o que deixa margens de 25kHz para cada lado para minimizar interferências com bandas adjacentes. Esta separação de estações é muito mais larga do que o que se passa para as estações AM, o que permite a transmissão numa mais vasta banda de frequências para a emissão de música em alta fidelidade, daí que a largura de banda usada na rádio FM seja maior que a largura de banda usada na rádio AM. Permite também a utilização de sub-ondas transportadoras o que torna possível a transmissão de sinais em FM estéreo.

A ideia básica num modulador de FM é variar a frequência de uma onda sinusoidal, geralmente através da variação na capacidade de um oscilador LC. A figura 8 (a) mostra o condensador de sintonia de um oscilador.

Suponhamos uma variação no condensador de um valor mínimo para um valor máximo. A figura 8 (b) mostra a saída de um oscilador cuja capacidade variou.



Figura 8 - Modulação de frequência.

A frequência da onda modulada passa a variar em torno da frequência da onda portadora, sendo acrescentada ou subtraída das frequências da onda moduladora. O resultado é que a onda Eletromagnética passa a ter uma distribuição de frequências em torno da frequência da portadora. Essa distribuição em geral é contínua, variando de uma frequência mínima a uma frequência máxima em torno da frequência da portadora.



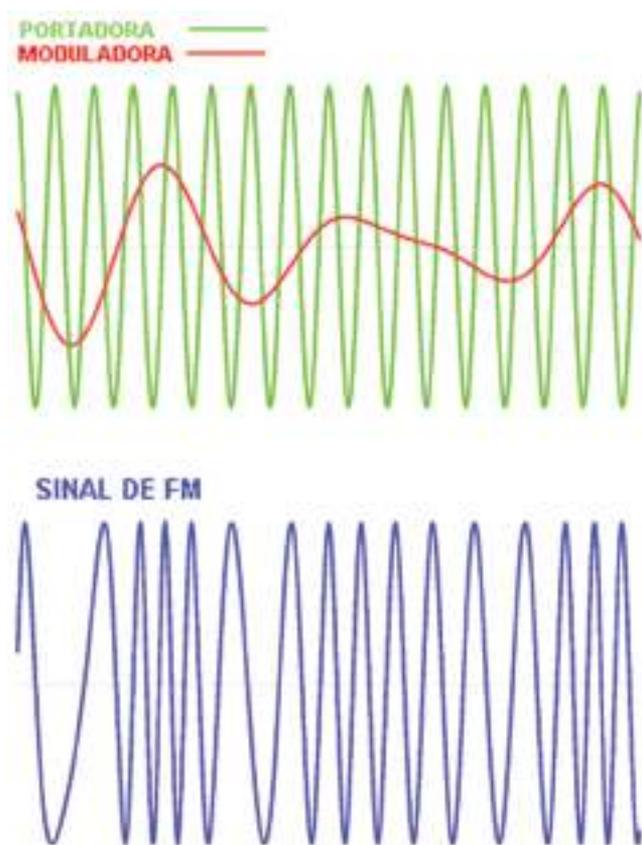


Figura 9 - Modulação de frequência.

Modulação por largura de pulso - PWM

Em modulação por largura de pulso (MLP) opera-se com frequência constante, variando-se o tempo em que a chave permanece ligada.

O sinal de comando é obtido, geralmente, pela comparação de um sinal de controle (modulante) - VC com uma onda periódica (portadora) - V_p como, por exemplo, uma onda dente de serra. A figura 10 ilustra estas formas de onda.

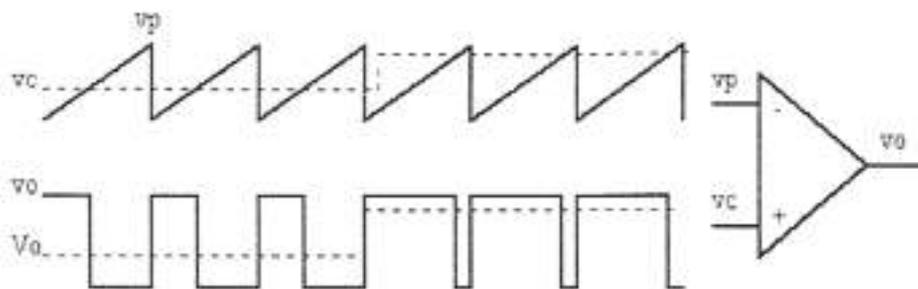


Figura 10 - Modulação por largura de pulso.



Para que a relação entre o sinal de controlo e a tensão média de saída seja linear, como desejado, a frequência da onda portadora deve ser, pelo menos 10 vezes maior do que a modulante, de modo que seja relativamente fácil filtrar o valor médio do sinal modulado (MLP), recuperando o sinal de controlo.

Modulação de fase

Modulação em Fase (ou PM - Phase Modulation) é um tipo de modulação analógica que se baseia na alteração da fase da portadora de acordo com o sinal modulador (mensagem). Usada para transmissão de dados.

Tanto em FM como em PM, a amplitude V_p da onda modulada é CONSTANTE.

Neste tipo de modulação o ângulo da portadora varia de acordo com o sinal modulador.

Neste tipo de modulação temos:

- Modulação em frequência (FM);
- Modulação em fase (PM);

Quando o sinal modulante passa por zero, indo de + para -, a onda PM tem frequência mínima. Nos instantes de passagem por zero do sinal modulante, o desvio de fase também é zero.

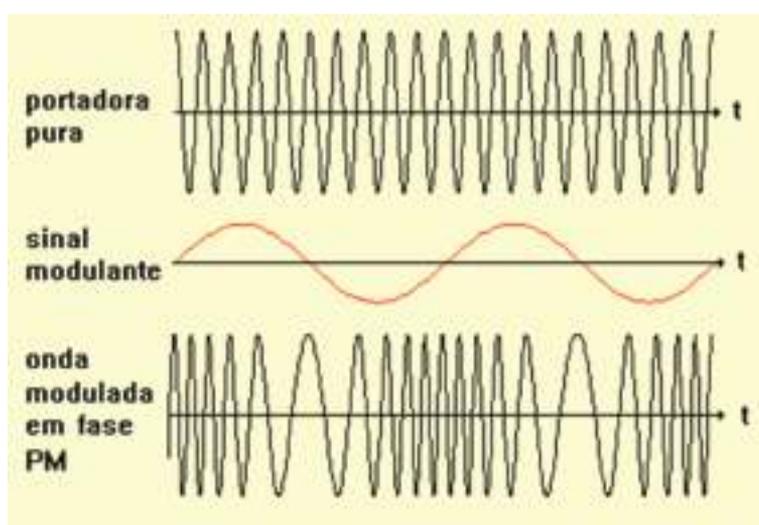
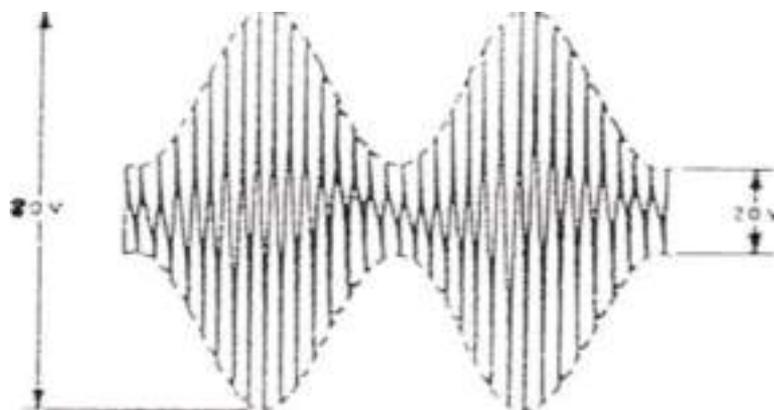


Figura 11 - Modulação de fase.



Perguntas de revisão

1. Em que consiste a modulação? Porquê a sua utilização?
2. Que tipo (s) de modulação conhece?
3. A amplitude pico-a-pico de um sinal AM varia de 2 a 8 volts. Qual é a percentagem de modulação?
4. Indique as frequências componentes de uma onda AM. Em qual delas está contida a informação modulante?
5. Qual a principal diferença entre AM e FM?
6. Quais são as três características de uma onda sinusoidal que podem ser variadas?
7. Qual a percentagem de modulação da onda AM, mostrada na figura seguinte?



8. Onde está contida a informação num sinal AM?
9. O que entende por modulação de fase?



Desmodulação

Desmodulação para AM

O sinal enviado por um transmissor de AM modulado é recebido por um recetor de rádio. Para reproduzir o sinal original de áudio transmitido, é necessário realizar o processo de desmodulação em que o sinal modulado da portadora. Este processo é também conhecido como deteção.

Figura 11 mostra o circuito básico de um detetor AM.

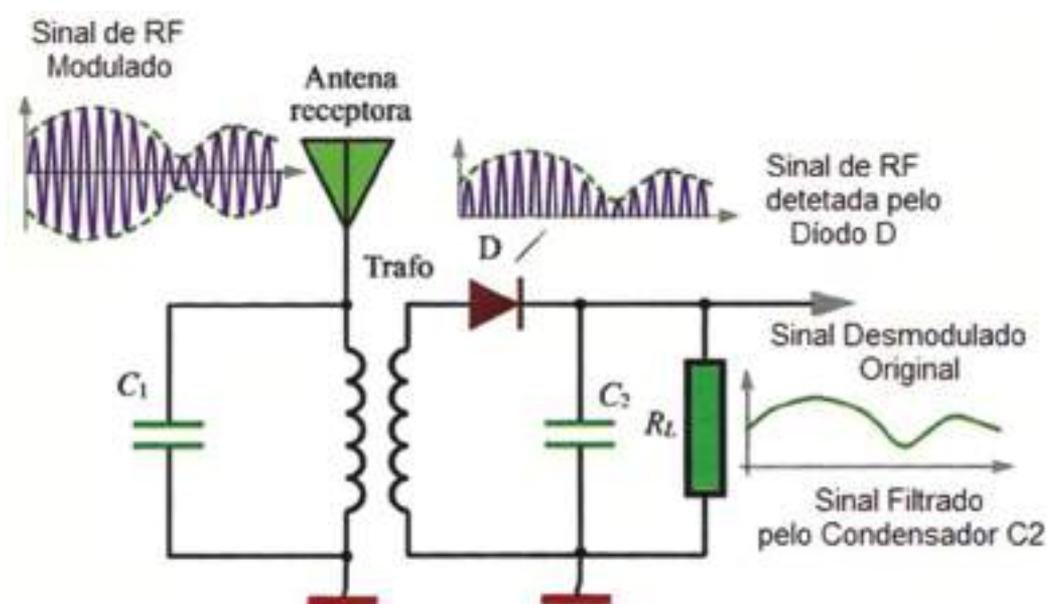


Figura 11 - Circuito básico de um desmodulador de AM.

A primeira função que tem este circuito é apenas a de deixar passar para o recetor, o sinal que desejamos sintonizar, isto é, deveremos seleccionar a largura de banda de frequência do sinal a desmodular e excluir o resto. No circuito da Figura 12, isto é conseguido através da bobina do enrolamento primário do transformador sintonizado Trafo e o condensador de sintonização C_1 que formam o circuito ressonante.

Para entender isso melhor, vamos dar um exemplo prático: Suponha que o circuito ressonante da figura 13 é desenhado para ressonar a uma frequência de 1000 kHz e que pela antena aparecem sinais de radiofrequência que vão desde os 525 kHz a 1650 kHz. Lembre-se de que um circuito ressonante paralelo tem uma impedância elevada



(teoricamente infinita) para a frequência de ressonância, de modo a que o nosso circuito oferecerá mais impedância para os 1000 kHz e pouca impedância para as outras frequências. Assim, só a frequência de ressonância aparece nos bornes da bobina, enquanto o outro é desviada para a massa.

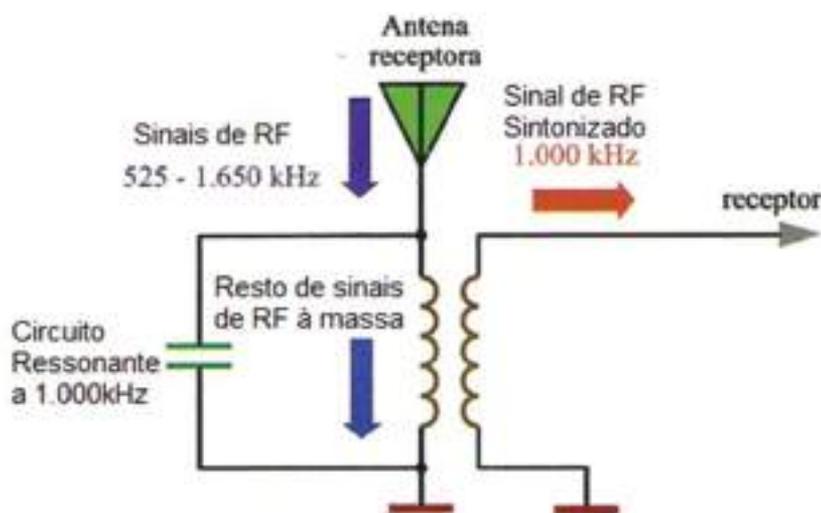


Figura 12 - Circuito ressonante para a seleção de uma emissão de RF.

No circuito da Figura 11 o sinal entra pela antena e é aplicada ao primário de Trafo, que é um transformador sintonizado à frequência da portadora junto do condensador C_1 . O circuito ressonante formado tem uma largura de banda suficiente para deixar passar tanto o Sinal da portadora como das duas bandas laterais.

Depois de ter selecionado ou sintonizado o sinal, é necessário separar o sinal da portadora de alta frequência do sinal modulado de baixa frequência.

Isto é conseguido através do processo de detecção realizado em conjunto com o diodo D em combinação com o condensador C_2 .

O diodo D só conduzirá quando o sinal tem componente positiva, eliminando assim uma das envolventes do sinal de RF modulado (veja a Figura 13). Além disso, o condensador C_2 age como um filtro passa-baixo e consegue eliminar as frequências elevadas da portadora (o condensador tem uma baixa impedância para as altas frequências). Na resistência de carga R_L apenas aparecerá o sinal desmodulado pertencente à informação original de baixa frequência (para entender melhor relembrar como foi conseguido filtrar uma tensão retificada mediante condensador: conseguir passar uma onda pulsante a uma onda que seguia os pontos máximos da tensão).



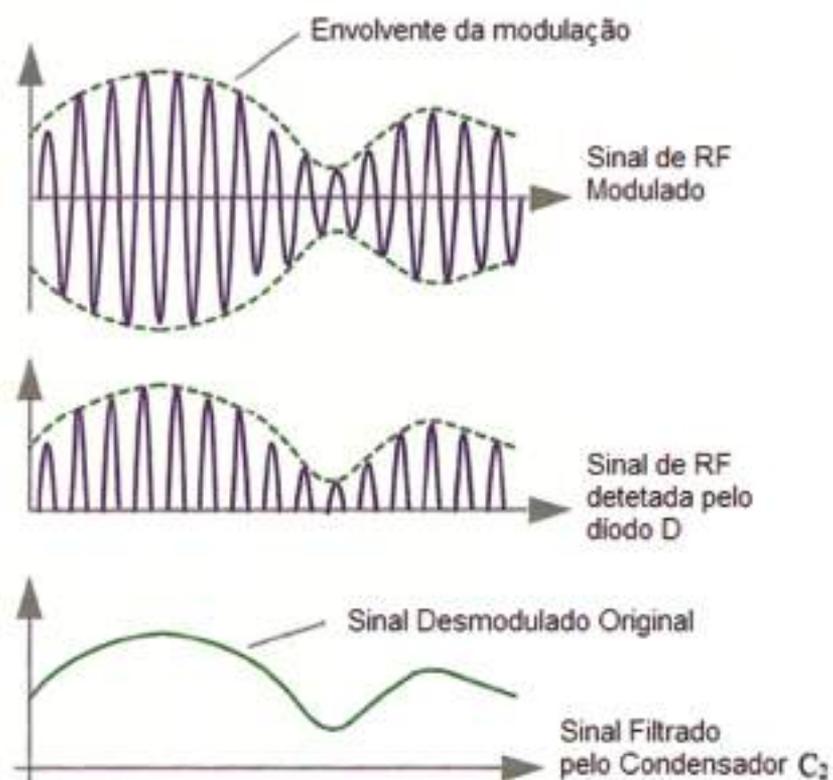


Figura 13 – Processo de desmodulação de um sinal.

Desmodulação para FM

A desmodulação FM consiste no processo inverso da modulação, transformar os desvios de frequência (± 50 KHz em torno da portadora FI de 10,7 MHz) em amplitudes de sinal de áudio (de 20 Hz a 20 KHz), como ilustrado na figura 14.

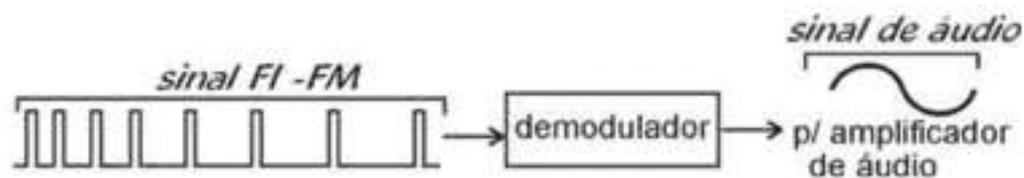


Figura 14 - desmodulação FM.

São dois os tipos de desmoduladores usados em recetores de Rádio FM: o detetor de relação e o discriminador. Este último precisa ser antecedido por um estágio limitador que limite a valor constante os picos de amplitude da FI; o detetor de relação dispensa o limitador, economizando um estágio.



O limitador corta os picos de amplitude do sinal FI, sem alterar sua frequência, passando para o discriminador o mesmo sinal FI mas com amplitude limitada a um teto (figura 15).



Figura 15 – atuação do limitador.

Os picos de amplitude inferiores ao teto que aparecerem na entrada do limitador permanecerão em seus níveis, saindo para o discriminador um sinal de amplitude variável que distorcerá a desmodulação (figura 16).



Figura 16 – Sinal com nível insuficiente no limitador.

O circuito do limitador é semelhante a um sub-estágio FI (figura 17). O seu transístor é polarizado de tal forma que entra em saturação acima de certo nível dos picos na sua base. Os filtros LC são ressonantes em 10,7 MHz e com acoplamento ajustável entre o primário e secundário do transformador.

O último sub-estágio FI é ligado ao circuito RC. Este mantém o nível médio do sinal, o qual participa da polarização na base do transístor limitador e representa seu ponto de saturação. Quando a amplitude do sinal é maior que o nível médio não há aumento na amplificação, que fica limitada ao teto de saturação.

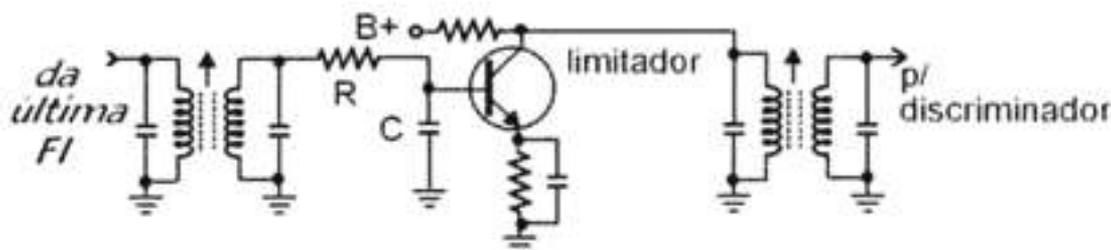


Figura 17 – Circuito Limitador.



O circuito do discriminador é visto na figura 18. O sinal recebido do limitador é acoplado simultaneamente nos secundários L_1C_1 ressonante em 10,8 MHz, e L_2C_2 ressonante em 10,6 MHz. Nos desvios positivos (acima da frequência central 10,7 MHz) o secundário L_1C_1 tem maior corrente induzida que L_2C_2 (devido a sua ressonância em 10,8 MHz), fazendo D1 conduzir mais que D2. Nos desvios FM negativos (abaixo da frequência central 10,7 MHz) o secundário L_2C_2 tem maior corrente induzida que L_1C_1 (devido à sua ressonância em 10,6 MHz), fazendo D₂ conduzir mais que D₁. O sinal para o amplificador de áudio é retirado da tensão entre as saídas dos dois díodos (pontos A e B).

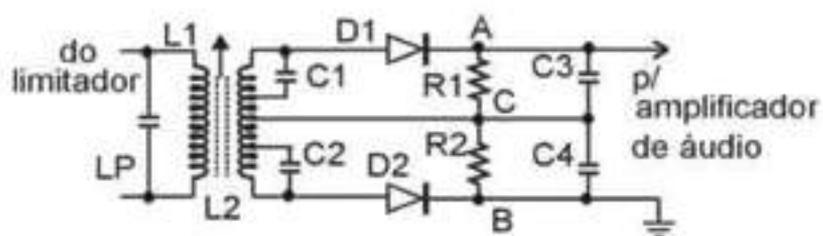


Figura 18 - Circuito Discriminador.



Perguntas de revisão

1. Em que consiste a Desmodulação? O porquê da sua utilização?
2. Como se processa a desmodulação em AM? Descreva-a.
3. Como se processa a desmodulação em FM? Descreva-a.
4. Quais os tipos de desmodulador utilizados em FM? O desmodulador discriminador é constituído por quantos circuitos? Descreva cada um deles e faça o respetivo esquema eletrónico.



Sintonizador

Princípio do andar misturador

No andar misturador, mistura-se a frequência de recepção f_e com a frequência do oscilador f_o . Nas gamas das ondas longas, e médias, o oscilador oscila mais depressa que a f_e , num valor igual à frequência intermédia FI . Esta possibilidade também é aproveitada muitas vezes na gama das ondas curtas, mas aqui o oscilador também pode oscilar mais devagar que a frequência de recepção f_e , num valor igual à FI .

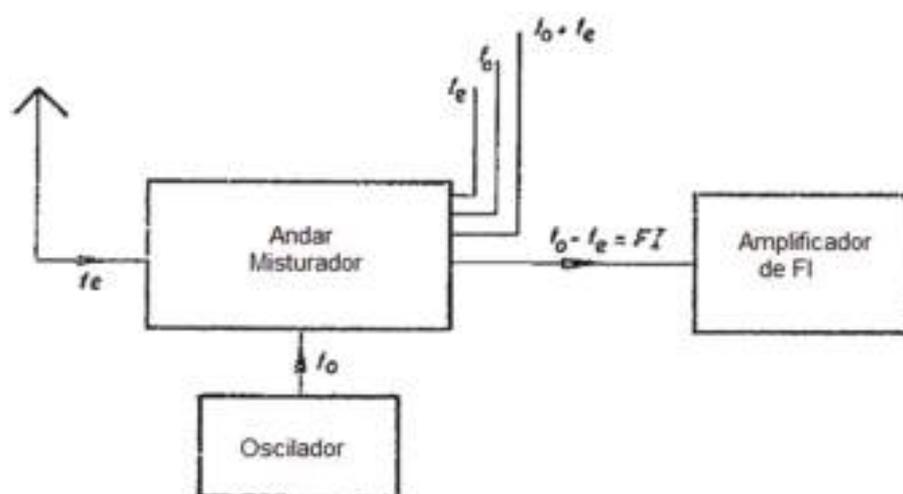


Figura 19 – Diagrama de blocos de um circuito sintonizador.

Além das duas frequências básicas f_o e f_e , aparecem na mistura as novas frequências $f_o + f_e$ e $f_o - f_e$. Com auxílio de um circuito oscilante afinado na frequência intermédia FI retira-se, desta mistura de frequências, a frequência $f_o - f_e$, que depois é amplificada no amplificador de FI . Todas as outras frequências são suprimidas.

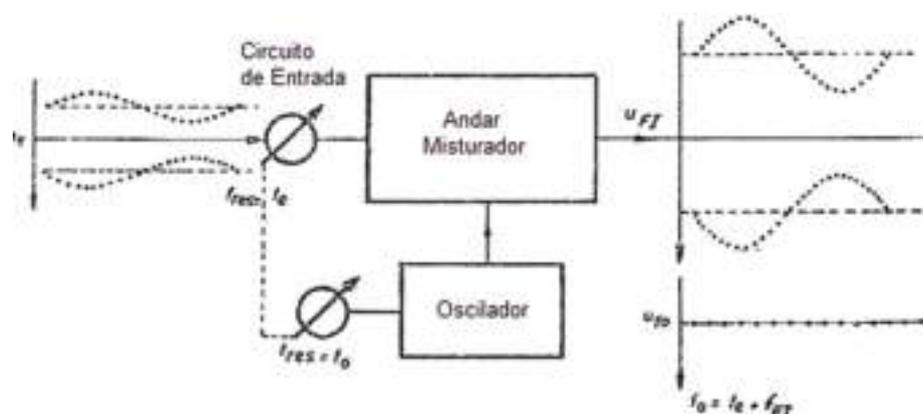


Figura 20 –
Mistura das
frequências.



Na recepção de um emissor com a frequência de 1602 kHz, o oscilador de ondas médias oscila com a frequência $f_0 = 460$ kHz mais acima que a do emissor; f_0 é portanto $1602 + 460 = 2062$ kHz, A mistura fornece a FI de 460 kHz, cuja amplitude transporta a modulação de f_e .

O oscilador deve oscilar, em toda a gama de frequências, 460 kHz mais acima que f_e . Apesar do circuito de entrada e do condensador variável do oscilador se encontrarem montados sobre o mesmo eixo, é impossível obter um sincronismo total, sem variações. No entanto, se o dimensionamento for bem feito, as variações são relativamente pequenas. Em casos especiais, pode ser necessário escolher outra FI, por ex. 468 kHz, o que se consegue modificando o oscilador.

Com os seus três terminais, o transístor só permite a mistura aditiva. Um andar misturador pode ser montado de forma auto-oscilante ou com comando separado.

No andar misturador auto-oscilante há um transístor que trabalha como oscilador e misturador. A desvantagem de um andar destes é de que não se pode regular a sua amplificação. Se a corrente de coletor descesse a partir de um certo ponto, o oscilador deixaria de oscilar (por a condição para a amplitude não estar satisfeita).

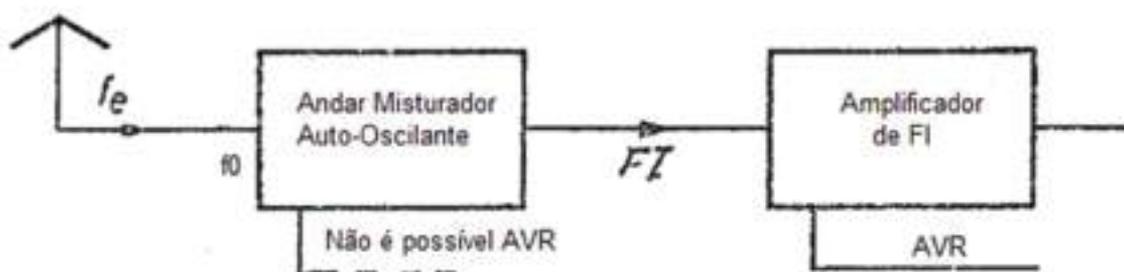


Figura 21 – Andar misturador auto-oscilante.

Para se poder compensar eficazmente o “fading”, a AVR (regulação automática da amplificação) deveria atuar também sobre o andar de entrada (no início do recetor) pois é aí que ela é mais eficaz. Para, se ter um andar misturador regulado são necessários dois transístores.



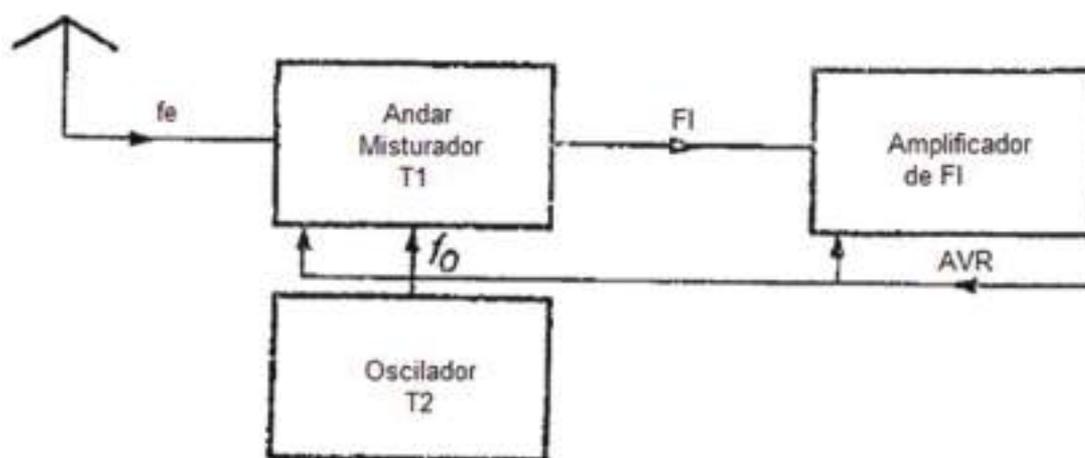


Figura 22 – Andar misturador regulado.

Estes podem ser distribuídos num andar misturador e num oscilador separado ou num andar preliminar de AF regulado (T_1) e num andar misturador não regulado (T_2), situado a seguir. Este tipo de montagem tem a vantagem de ter uma amplificação mais elevada e, no caso de se querer um andar misturador com dois transístores, é mais utilizada.

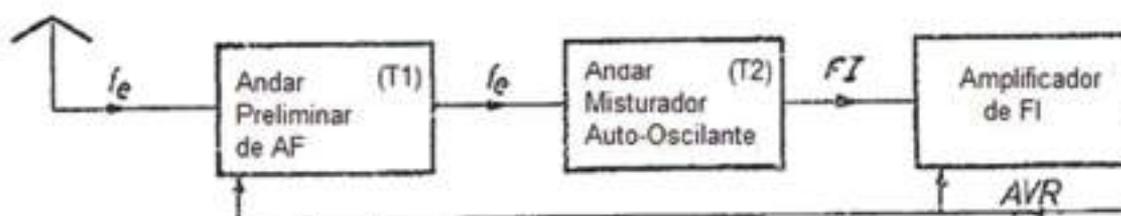


Figura 23 – Andar preliminar de AF.

Especialmente para os recetores de ondas curtas é necessário proceder a uma regulação do andar de entrada, por causa do forte “fading” que se faz sentir nessa gama de frequências.

Andares misturadores

Como o transístor só possui um eléctrodo de comando, a mistura só se pode fazer pelo processo aditivo. A mistura efetua-se na linha base-emissor. As figuras 24 e 25 mostram os esquemas equivalentes básicos. Primeiro, as frequências f_0 e f_e são sobrepostas e a seguir são misturadas na curva U_{BE}/I_B .



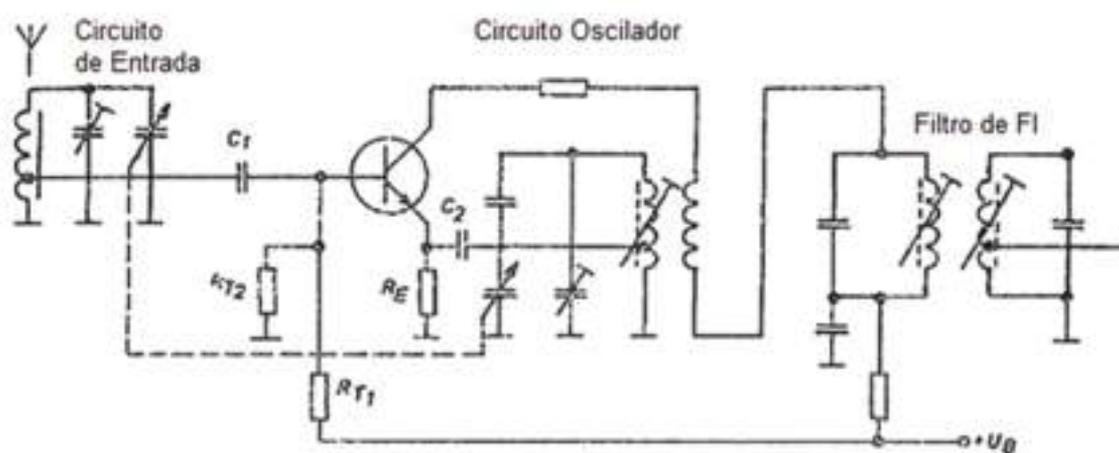


Figura 24 – Andar misturador.

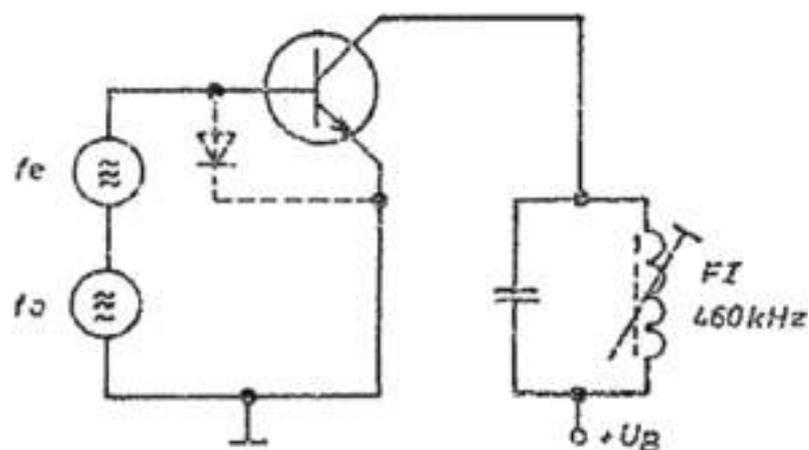


Figura 25 - frequências f_o e f_e são sobrepostas.

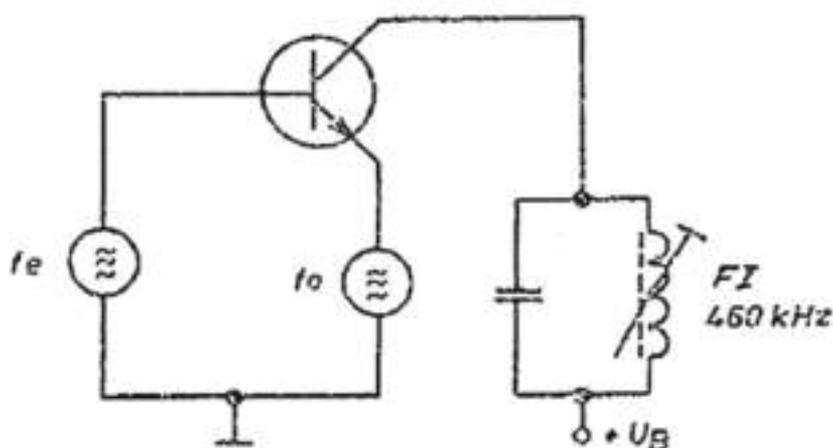


Figura 26 - f_o e f_e são sobrepostas e a seguir são misturadas na curva U_{BE}/I_B .



Relativamente à frequência de entrada, o andar misturador trabalha em emissor comum. Para a frequência de entrada f_e , o circuito oscilador não está em ressonância e tem um baixo valor óhmico, de modo que o emissor, no que diz respeito à corrente alternada, se encontra ligado à massa, através de C_2 . A estabilização e o ajuste do ponto de trabalho são efetuados com R_{T1} , R_{T2} e R_E .

O oscilador trabalha em base comum. Para a frequência do oscilador, o circuito de entrada não se encontra em ressonância e tem uma baixa resistência pelo que, para f_0 e no que diz respeito à corrente alternada, a base encontra-se ligada à massa através de C_1 .

Dada a pequena resistência, à corrente alternada do circuito de entrada, a irradiação perturbadora do oscilador conserva-se nos limites necessários. O oscilador é acionado em base comum, pois, com este tipo de funcionamento, a relação de correntes é, ao longo de uma larga faixa, praticamente independente da frequência e assim consegue-se que a amplitude do oscilador seja constante em toda a faixa de variação.

Receção em ondas ultracurtas - Andar misturador de OUC (Tuner)

No andar misturador de OUC (ondas ultracurtas) é pré-amplificada a AF vinda da antena de OUC (dipolo) e misturada com uma frequência do oscilador. Daí resulta a frequência intermédia FI = 10,7 MHz, que está modulada com a informação de BF.

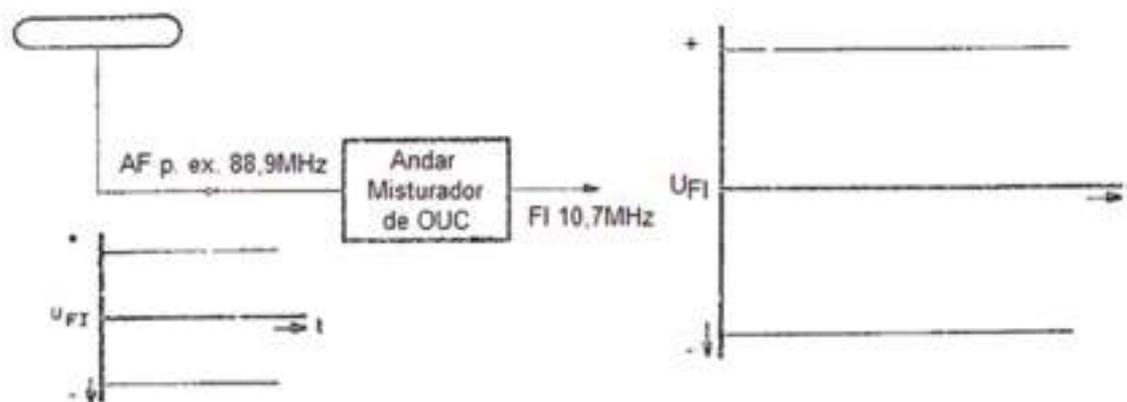


Figura 27 - O andar misturador de OUC (ondas ultracurtas).



Um bom andar misturador tem que satisfazer múltiplas e elevadas exigências:

- a. Elevada sensibilidade limite (baixo fator de ruído);
- b. Grande rejeição de intermodulação;
- c. Grande rejeição de perturbações provocadas por produtos de mistura indesejados;
- d. Grande rejeição de ondas imagem;
- e. Pequeno desvio (“drift”) de temperatura;
- f. Elevada supressão de ondas comuns (Capture Ratio);
- g. Pequena irradiação de sinais perturbadores;

Explicações relativas a:

- a. Fator de ruído: É uma medida para a sensibilidade limite, no tuner. Quanto menor for o fator de ruído, melhor se podem receber, sem ruído, os emissores de OUC mais afastados.
- b. Sensibilidade: É uma medida para a capacidade de receção do tuner. Uma sensibilidade com um valor pequeno significa uma elevada amplificação e, por conseguinte, a possibilidade do tuner receber emissões muito afastadas.
- c. Entende-se por intermodulação, a receção de bandas laterais de AM de um emissor perturbador sobre a portadora do emissor útil (aquele que se quer ouvir). Esta é provocada pela característica encurvada dos transístores e representa uma modulação autêntica (suplementar) da portadora útil. Emissores perturbadores modulados em amplitude podem aparecer acima ou abaixo da gama das ondas ultracurtas ou também através da receção por vários caminhos de emissores de FM.
- d. A frequência de receção atinge a antena por diversos caminhos (por ex: diretamente do emissor e indiretamente, um pouco mais tarde, dado que o caminho através do ponto de reflexão é mais longo.

Perturbações provocadas nos produtos de mistura indesejados

Perturbações provocadas por emissores de OUC:

Emissor útil (U) = 90 MHz

Emissor perturbador (P) = - 100,7 MHz



$$P - U = 10,7 \text{ MHz (FI)}$$

Perturbações provocadas por emissores de TV:

$$\text{Emissor útil (U)} = 90 \text{ MHz}$$

$$\text{Oscilador (O)} = 100,7 \text{ MHz}$$

$$\text{Emissor perturbador (P)} = 190,7 \text{ MHz}$$

$$P - O = U (90 \text{ MHz})$$

São de difícil eliminação as perturbações que aparecem na característica encurvada dos transístores, especialmente quando estes são sobremodulados por sinais de antena muito fortes. Estas perturbações são originadas pela mistura de várias frequências de entrada entre si ou com a frequência do oscilador, caindo as frequências de soma ou de diferença outra vez na gama de OUC ou formando diretamente uma FI de aproximadamente 10,7 MHz.

Dado que os produtos de mistura possuem sempre o tipo de modulação do emissor perturbador, eles também podem apresentar uma modulação de frequência impossível de eliminar através da supressão de AM.

- e. Entende-se por isto, a supressão de ondas perturbadoras com a frequência imagem.
- f. Drift: Significa no tuner uma fuga indesejada da sintonização do emissor. Os tuners transistorizados têm um “drift” pequeno, por causa do pequeno desenvolvimento de calor, a qual, além disso, é compensada pela regulação automática de frequência.
- g. Capture Ratio: Significa praticamente a mesma coisa como supressão de ondas comuns. Se o tuner receber dois sinais com o mesmo comprimento de onda mas intensidades diferentes, ele terá que reproduzir o mais forte e suprimir o mais fraco. A relação dos sinais de entrada é indicada em dB. Um tuner é tanto melhor, quanto menor forem as relações (valores em dB) que ele consegue distinguir.

As “perturbações citadas podem ser fortemente reduzidas através de:

1. Uma boa pré-seletividade que reduza tanto quanto possível os sinais perturbadores nas entradas dos transístores dos andares de entrada e do misturador.



2. Utilização de transístores com baixo nível de ruído e característica quase quadrática, em cuja curvatura só se verifique uma intermodulação muito pequena.

h. Tem que se impedir que as ondas fundamentais e harmónicas do oscilador sejam irradiadas pelo tuner de ondas ultracurtas.

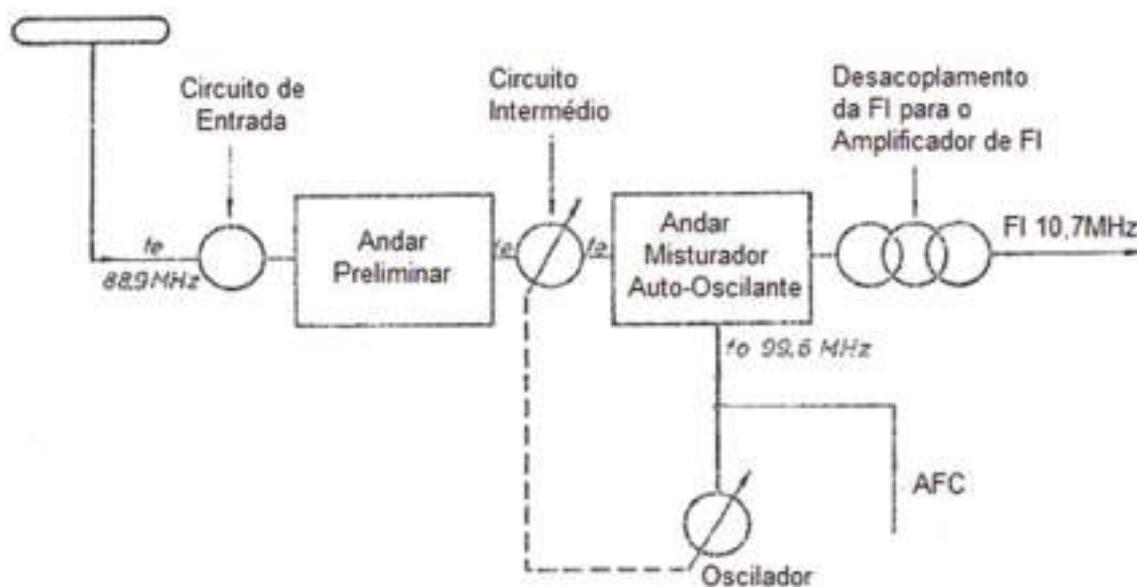


Figura 28 - Esquema de blocos do andar misturador de um aparelho de qualidade média.

A f_e atinge o andar preliminar através de um circuito de entrada de banda larga. No andar preliminar a f_e é amplificada e segue, através de um circuito intermédio sintonizável (ou filtro passa-banda), para o andar misturador auto-oscilante. Da mistura com a frequência do oscilador f_0 resulta a FI de 10,7 MHz.

O andar preliminar de AF

A tensão da antena é injetada, através de um passa-alto com uma frequência limite de 70 MHz, no andar preliminar. Dessa maneira, impede-se que os emissores de ondas curtas muito fortes formem produtos de mistura incontroláveis no transistor do andar preliminar. As indutâncias são normalmente impressas. O passa-alto está calculado para uma impedância característica de 240Ω . Na zona da banda passante não se verifica praticamente qualquer atenuação, mas para além da frequência limite a atenuação sobe



fortemente, o emissor é comandado de forma assimétrica, através de um transformador. A ligação à terra, do transformador, processa-se através de um condensador de 10nF. No coletor, encontra-se o circuito intermédio de OUC, o qual é sintonizado com um díodo duplo BB 104. A utilização de um díodo duplo impede as distorções do sinal de AF provocadas por sinais de comando demasiado elevados. Além disso, aplicando um díodo duplo poupa-se um condensador de separação e obtém-se uma menor atenuação do circuito oscilante. Variações de tensão de 2 - 30 V originam variações de capacidade de 45-13pF. A tensão de AF segue para o emissor do transistor misturador, através de um condensador de 3pF.

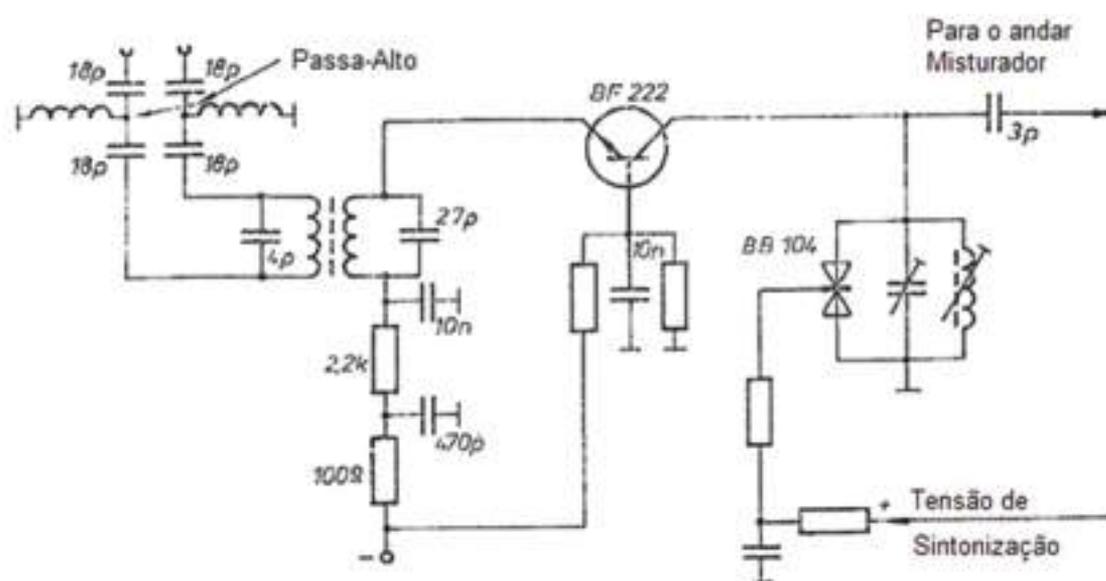


Figura 29 – Andar preliminar de AF.



Diagrama de blocos de um recetor de rádio estereofónico de OUC

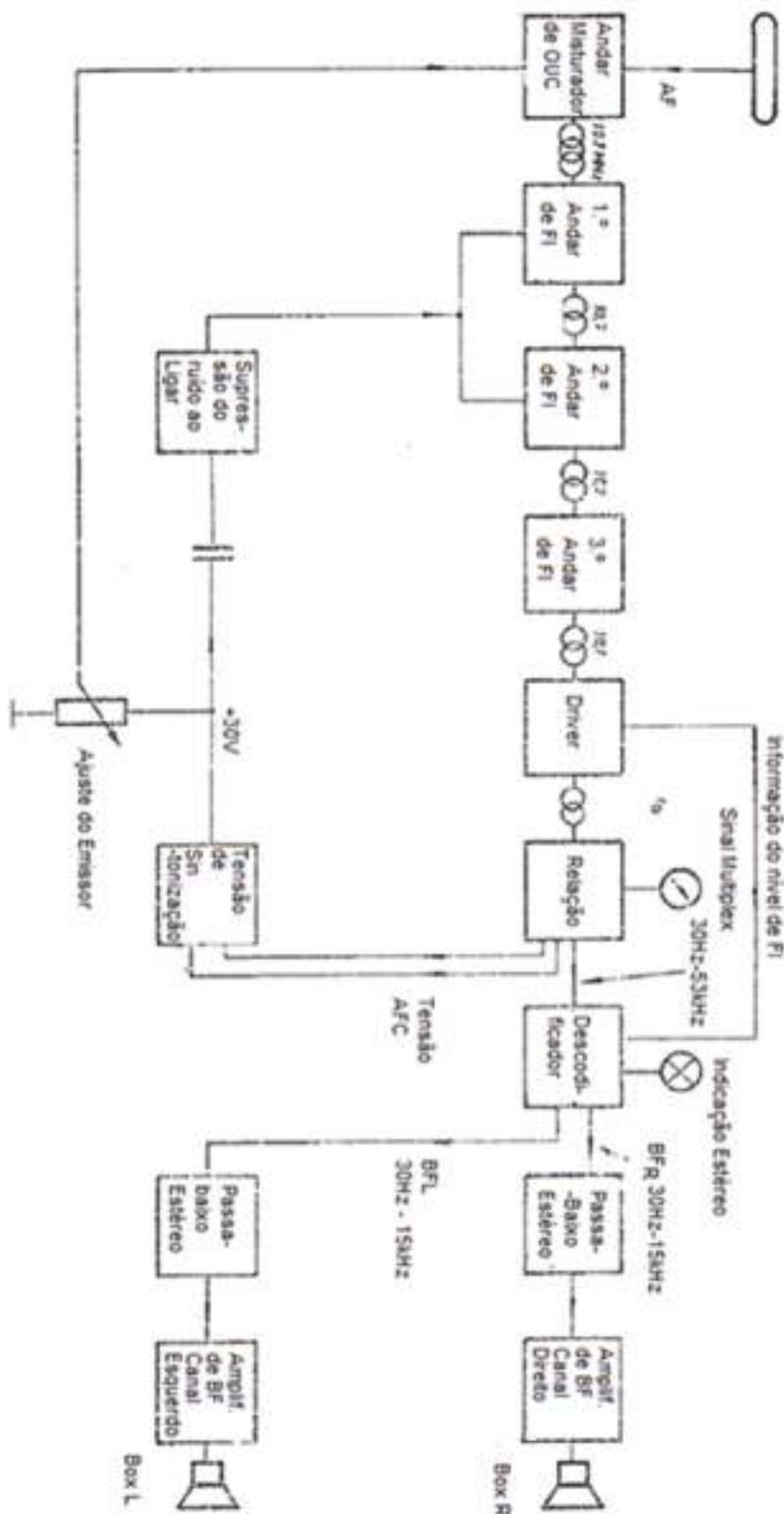


Figura 30 – Diagrama de blocos de um recetor de rádio estereofónico de OUC.



Sintonizador do rádio FM

O sintonizador é o circuito que tem como função receber o sinal das emissoras vindas pela antena, selecionar o sinal de uma delas e transformar num outro sinal denominado frequência intermédia (FI). A FI do rádio FM é de 10,7 MHz. Abaixo vemos um circuito básico de sintonizador de FM e ao lado o tipo de sinal que chega na antena. Observe como a frequência varia de acordo com a modulação do áudio da emissora:

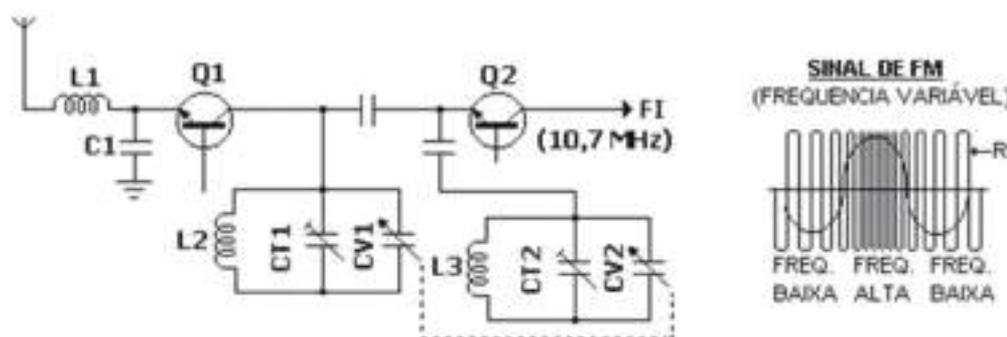


Figura 31 – Circuito de sintonizador de rádio.

Fonte: Burgos Eletrônica.

A bobina L_1 e o condensador C_1 formam um pequeno filtro que só deixam entrar no rádio os sinais com frequências entre 88 e 108 MHz, onde estão as emissoras de FM.

O transistor Q_1 é um amplificador de radiofrequência (RF) usado para amplificar o sinal das emissoras de FM que chegam fracas à antena.

A bobina L_2 , o condensador variável C_{V1} e o trimmer C_{T1} formam o circuito de sintonia. Este circuito LC (bobina e condensador em paralelo) tem uma frequência própria de ressonância. Apenas a emissora que coincidir com a frequência do circuito, consegue entrar no rádio. As restantes emissoras vão para a terra. Alterando o valor da bobina ou do condensador, podemos escolher outra emissora para entrar no rádio. Por isto o condensador do circuito de sintonia é do tipo variável e o trimmer é usado na calibração, ou seja, no ajuste das emissoras a serem recebidas (posição e intensidade de sinal).

A bobina L_3 , o variável C_{V2} , trimmer C_{T2} formam o circuito oscilador local. Este outro circuito LC (parecido com a sintonia) tem a função de gerar um outro sinal de RF com frequência 10,7 MHz maior que a da emissora sintonizada. Por exemplo: se a emissora sintonizada for 100,1 MHz, o oscilador local deve gerar um sinal de 110,8 MHz e assim



por diante. Observe como o variável da sintonia C_{v1} e o do oscilador C_{v2} estão ligados por um pontilhado. Significa que eles são acionados pelo mesmo eixo. Abaixo vemos o condensador variável e as bobinas da antena (circuito de sintonia) e a osciladora. Observe como estas bobinas têm poucas espiras, devido às altas frequências que trabalha o sintonizador de FM.



Figura 32 – Condensador variável e as bobinas da antena.

Fonte: Burgos Eletrónica.

A variável de rádio AM/FM possui 6 terminais, sendo 3 para cada faixa.

O transistor Q_2 faz parte do oscilador local e desempenha outra função chamada misturador. Portanto ele é um oscilador/misturador ao mesmo tempo (há rádios no qual estas duas funções são feitas por transistores separados). O misturador faz o batimento (heterodinação) entre o sinal da emissora e o do oscilador local, resultando no sinal de FI de 10,7 MHz. A partir do misturador o rádio trabalha sempre com a mesma frequência, produzindo desta forma o mesmo ganho para todas as emissoras.



Perguntas de revisão

1. Um sintonizador é constituído por quantos equipamentos?
2. O sintonizador mistura quantas frequências? Identifique-as.
3. Nessa mistura de frequências, aparecem algumas novas frequências? Se sim identifique quais.
4. Como é que é compensado o “fading”?
5. Um andar misturador tem que satisfazer algumas exigências. Indique quais.
6. Qual é o valor da frequência FI da rádio FM?
7. Normalmente, as bobinas de um circuito sintonizador têm poucas espiras. A que se deve isso?



FI

A função do amplificador FI do andar de FM

A função do amplificador de FI é a de amplificar a FI modulada que vem do andar misturador (10,7 MHz) de tal forma que o desmodulador possa ser plenamente comandado e que forneça uma BF suficientemente elevada.

O amplificador de FI de um aparelho de rádio de FM, de alta qualidade tem que satisfazer uma larga série de exigências.

Exige-se:

- a. Grande amplificação;
- b. Pequena resposta em amplitude (grande largura de banda);
- c. Grande inclinação dos flancos e simetria da curva passante;
- d. Tempo de propagação de grupo tão constante quanto possível;
- e. Pequena diafonia (nos amplificadores de FI estereofónicos).

Explicações relativas a:

- a. Através de uma elevada amplificação, com um ruído de fundo tão pequeno quanto possível, o recetor adquire uma grande sensibilidade, isto é, os emissores fracos também são bem reproduzidos.
- b. O amplificador de FI deve amplificar a banda de frequências útil que lhe é fornecida, de forma tão homogénea, quanto possível e não deixar passar, ou seja, rejeitar as perturbações de AM, Para isso, o sinal de FI é limitado por ele,
- c. Uma grande inclinação dos flancos significa grande seletividade e, conseqüentemente, rejeição das frequências perturbadoras que se encontram fora da banda útil de FI.
- d. Uma oscilação necessita de um tempo determinado para atravessar um amplificador de ressonância. Este tempo de propagação é tanto menor quanto maior for a frequência. Se um amplificador for atravessado por duas oscilações com frequências diferentes, verifica-se um desfasamento na saída que corresponde à diferença do tempo de propagação.



Estas diferenças do tempo de propagação não deve ultrapassar certos valores pois-doutro modo verificam-se perturbações e distorções do sinal recebido.

- e. Dado a influência do transistor sobre os filtros passa-banda variar conforme o sinal de comando, as suas ressonâncias próprias podem variar por exemplo ao ritmo de uma sobreposição de AM, Como consequência resultam distorções de fase que após a descodificação e desmodulação se fazem sentir como fator de distorção e diafonia.

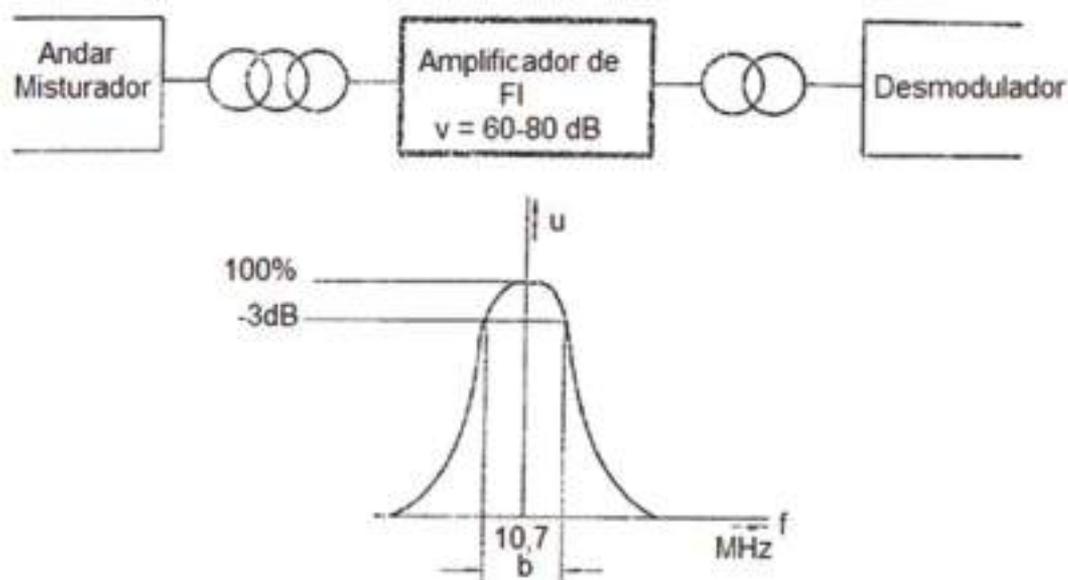


Figura 33 – Amplificador FI do andar de FM (10,7MHz).

Filtro de três circuitos

O acoplamento do andar misturador ao amplificador de FI processa-se com filtros passa-banda de três ou quatro circuitos.

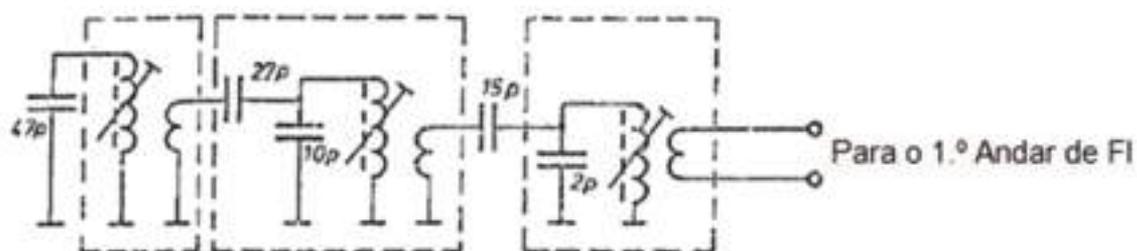


Figura 34 – Filtro de três circuitos.



Através da combinação de acoplamentos capacitivos e indutivos entre os circuitos consegue-se uma seletividade muito simétrica e uma grande inclinação dos flancos, dados os fatores de qualidade dos circuitos serem elevados (por exemplo $Q = 100$).

Andares de FI – Acoplamento de circuito único

No acoplamento de circuito único, o circuito oscilador sintonizado encontra-se na linha de coletor. O acoplamento e a adaptação do andar seguinte efetua-se com uma bobina de acoplamento dimensionada de forma precisa. Para os aparelhos estereofónicos, este tipo de ligação entre os andares é pouco apropriado, pois a grande largura de banda necessária nestes aparelhos é mais fácil de obter com acoplamento com filtros passa-banda.

A seletividade necessária, antes da amplificação da PI propriamente dita, pode fazer-se com circuitos oscilantes (filtros com vários circuitos) ou também com filtros cerâmicos. Os filtros cerâmicos aliam altos fatores de qualidade e elevada seletividade com dimensões pequenas e, além disso, não há o trabalho de afinação, pelo menos parcialmente.

A combinação de osciladores cerâmicos com circuitos oscilantes LC é designada por “filtros híbridos”. Se a adaptação na entrada e na saída estiver bem-feita conseguem-se com estes filtros, tal como de uma forma geral com os osciladores cerâmicos, as características técnicas exigidas.

O circuito seguinte trabalha com um circuito oscilante e dois osciladores cerâmicos duplos: trata-se de um “filtro híbrido de cinco circuitos”.

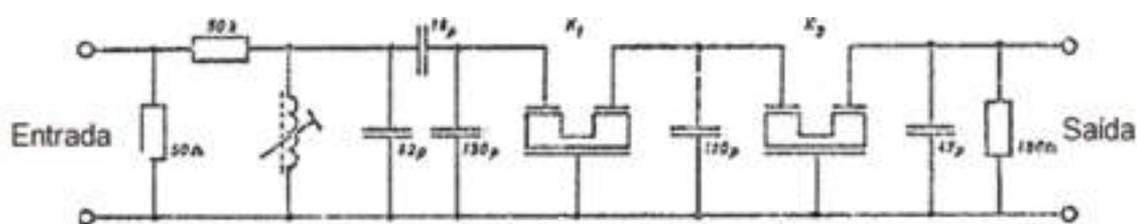


Figura 35 – Filtro híbrido de cinco circuitos.

Dados técnicos:

Frequência central – 10,7MHz

Largura de banda de 3dB – Aproximadamente 180kHz



Atenuação de passagem - Aproximadamente 10dB

Seletividade para 300 kHz - Aproximadamente 50dB

Seletividade perante emissores com frequências afastadas – Aproximadamente 60dB

Fator de qualidade de cada ressonador - Aproximadamente 200

A figura seguinte mostra um filtro cerâmico (dois osciladores duplos) representado de outra forma. Neste circuito, antes do filtro encontra-se um transistor, que compensa a atenuação de transmissão e estabelece uma adaptação correta.

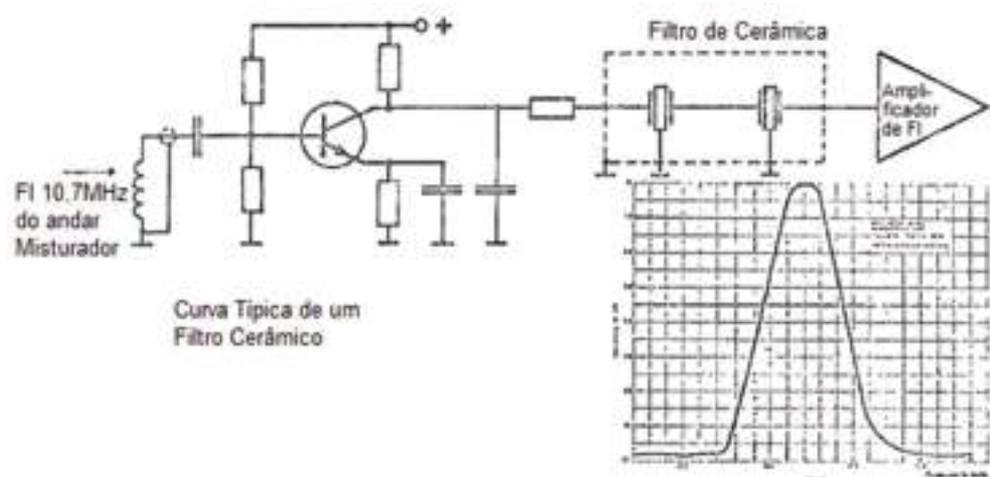


Figura 36 – Filtro cerâmico (dois osciladores duplos).

Acoplamento com filtros passa-banda

A influência da capacidade dinâmica de entrada e de saída do transistor sobre a diafonia, o fator de distorção e a supressão de AM, no que diz respeito à capacidade de entrada, é fortemente reduzida através de uma transformação com uma redução suficientemente grande da entrada do filtro passa-banda sobre a base.

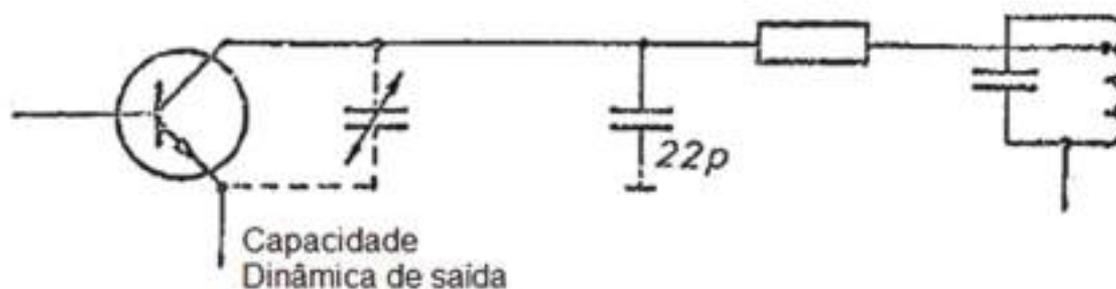


Figura 37 – Filtro passa-banda com capacidade dinâmica no coletor.



A influência da capacidade dinâmica do coletor é largamente reduzida por intermédio de uma associação RC dimensionada de forma exata. Esta associação RC tem um baixo valor ôhmico. O condensador de 22pF constitui um curto-circuito para a 8ª, 9ª e 10ª harmônica da FI (10,7 MHz) pelo que se evitam as reações sobre a entrada da antena.

A capacidade dinâmica de saída varia com as oscilações de amplitude que se verificam no coletor (originadas pela FI ou sobreposições de AM). Isso provocaria dessintonizações do circuito de coletor ao ritmo dessa AM, o que daria origem a distorções de fase e, conseqüentemente, a perturbações significativas do sinal recebido. A resistência R tem um baixo valor para que nela se verifique uma pequena queda da FI.

A derivação do circuito de coletor auxilia as medidas tomadas para a redução da capacidade dinâmica e diminui a atenuação do circuito ressonante através da resistência de saída do transistor.

Perguntas de revisão

1. Qual é a função do amplificador de FI?
2. Como é que se processa o acoplamento do andar misturador ao amplificador de FI?
3. No acoplamento de circuito único, onde é que se encontra ligado o circuito oscilador sintonizado? Esse acoplamento é feito com que circuito (s) ou componente (s)?
4. O que entende por “filtros híbridos”?
5. Explique o porquê do acoplamento com filtros passa-banda.
6. Esboce o diagrama de blocos + esquema eletrónico de um filtro cerâmico (dois osciladores duplos).



Recetor super-heterodino

Recetor super-heterodino para AM

Este tipo de recetor funciona fixando uma única frequência para o circuito sintonizado. A esta frequência fixa é conhecida pelo nome de frequência intermédia ou FI. Assim, por exemplo, a frequência intermédia utilizada para um recetor Rádio AM é de 455 kHz. Este método tem a vantagem de que qualquer sinal de rádio, independente da sua frequência, torna-se numa outra, cuja frequência é sempre a mesma (FI), facilitando o desenho do amplificador. É evidente que será mais fácil o desenho de um amplificador que funcione para uma dada frequência, do que outro teve que operar dentro uma vasta gama de frequências. Além disso o fato de poder trabalhar sempre com a mesma frequência faz facilita a tarefa de seleção da emissão.

Na figura 14, é apresentado um diagrama de blocos de um recetor super-heterodino. Para compreender melhor o funcionamento deste, assume-se, por exemplo, que o circuito de sintonização seleciona uma emissão de rádio com uma portadora de 1.000kHz e uma envolvente de áudio 3 kHz pertence ao sinal original modulado no emissor/transmissor. A antena capta todos os sinais de RF que estão no seu raio de ação. Neste caso para AM, estas frequências irão de 525 kHz até 1650 kHz.

Graças ao circuito de sintonia, podemos selecionar a emissão desejada. No nosso exemplo, esta emissão tem uma portadora de 1.000 kHz com uma envolvente de áudio de 3 kHz. Este circuito está em união com o oscilador local para produzir nele um sinal alta frequência que seja sempre superior em 455 kHz em relação à portadora de RF sintonizada.

No nosso exemplo, se o circuito de sintonia seleciona uma emissão 1.000 kHz, o oscilador local gera uma frequência igual a:

$$1.000 \text{ kHz} + 455 \text{ kHz} = 1.455 \text{ kHz}$$

O circuito misturador o que faz é combinar o sinal RF sintonizado com o sinal gerado pelo oscilador local. Assim só amplifica a frequência do sinal que resulta da diferença do oscilador e da sintonizada de RF. No nosso exemplo, o sinal que aparece na saída do misturador será:

$$1.455 \text{ kHz} - 1000 \text{ kHz} = 455 \text{ kHz}$$



Observe como a frequência do sinal obtido coincide com a frequência intermédia. E graças ao circuito misturador este sinal segue contendo informação da envolvente do áudio original.

Em conclusão, com este sistema é sempre alcançada uma portadora de RF à frequência intermédia de 455 kHz, seja qual for o valor da frequência do sinal de RF sintonizado. Além disso não varia toda a informação contida no sinal áudio, bem como a frequência. O sinal obtido pelo misturador aumenta a um nível no amplificador de FI. Este circuito está sintonizado assim de forma fixa nos 455 kHz, o que garante em todos os momentos a seletividade do sinal e a ausência de interferências causadas por outras emissões (note que se os sinais de RF de AM se emitem na gama de frequências que vão desde os 535 kHz a 1650 kHz é impossível que estas emissões interferiram no amplificador sintonizado de FI, visto que estas são maiores do que 455 kHz com as que trabalha o dito amplificador). Uma vez conseguido o nosso sinal com a sua portadora e frequência intermédia, deverá realizar o processo de desmodulação do sinal no bloco de deteção. Uma vez extraído o sinal de áudio original da portadora, que no nosso exemplo, é um sinal de áudio de 3 kHz, eleva-se a um nível no amplificador de áudio e se aplica a um altifalante.

Para além dos circuitos expostos, é usualmente adicionado ao recetor super-heterodino um circuito auxiliar, chamado de controlo automático de ganho (C.A.G.). A função deste circuito é a de manter um nível constante o sinal recebido pelo amplificador de áudio, de modo a que, embora a antena possa receber um sinal com mais ou menos amplitude, isto não provoque uma variação no volume do altifalante.

A banda de onda média (AM), na qual transmite a maioria das estações comerciais na Europa, faz-se dentro da gama de frequências de 525 KHz a 1650 KHz. Isto dá-nos uma largura de 1.125 kHz. Uma vez que, de acordo com as recomendações internacionais, dentro desta banda, pode-se emitir um total de 125 emissões diferentes, teremos uma largura de banda por emissão igual a $1125/125 = 9$ kHz.

Dentro desta largura de banda por emissor, encontram-se a portadora e as duas bandas laterais, pelo que cada banda terá 4,5 kHz.

Em conclusão, com o sistema de transmissão de AM a frequência mais elevada que pode ser transmitida será de 4,5 kHz. Esta quantidade é suficiente para fazer uma transmissão aceitável de voz humana. No entanto, se queremos transmitir emissões musicais de alta-fidelidade musical, teremos de usar cerca de 20 kHz. Uma vez que este daria lugar à



ocupação de uma largura de banda de 40 kHz, se desejarmos efetuar transmissões deste tipo em AM, só poderia emitir um total de 28 estações.

Na prática, as emissões são utilizadas em AM por conveniência de utilização e eficiência, mesmo que se sacrifique a qualidade da transmissão de música, deixando para a frequência modulada (FM) de alta-fidelidade, uma vez que a largura de banda para este tipo de sistema de transmissão é muito mais elevada do que AM.

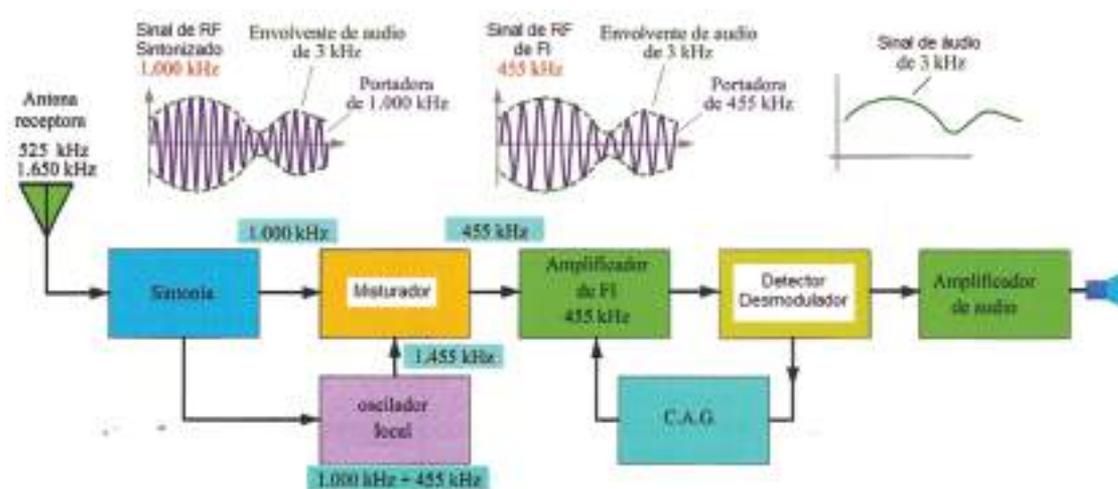


Figura 38 – Diagrama de blocos de um receptor super-heterodino para AM.

Receptor super-heterodino para FM

Para a recepção de transmissão em FM, o receptor usa-se um receptor super-heterodino em FM. Neste caso usa-se uma frequência intermédia de 10,7 MHz muito superior à utilizada em AM. Se se observar com cuidado a figura 39, vai verificar que o diagrama de blocos do circuito é muito semelhante ao receptor AM. Aqui adicionou-se uma etapa limitadora entre o amplificador de FI e o circuito de deteção ou de desmodulação.

A função do limitador é eliminar os parasitas do sinal de RF que possa conter devido a interferências (Figura 40). Este circuito funciona de tal forma que reduz a amplitude do sinal de RF, sem por isso seja alterada a informação de áudio que pode conter este sinal. Lembre-se de que nas emissões em FM o sinal de áudio é inserido na portadora em forma de alterações na frequência da mesma.



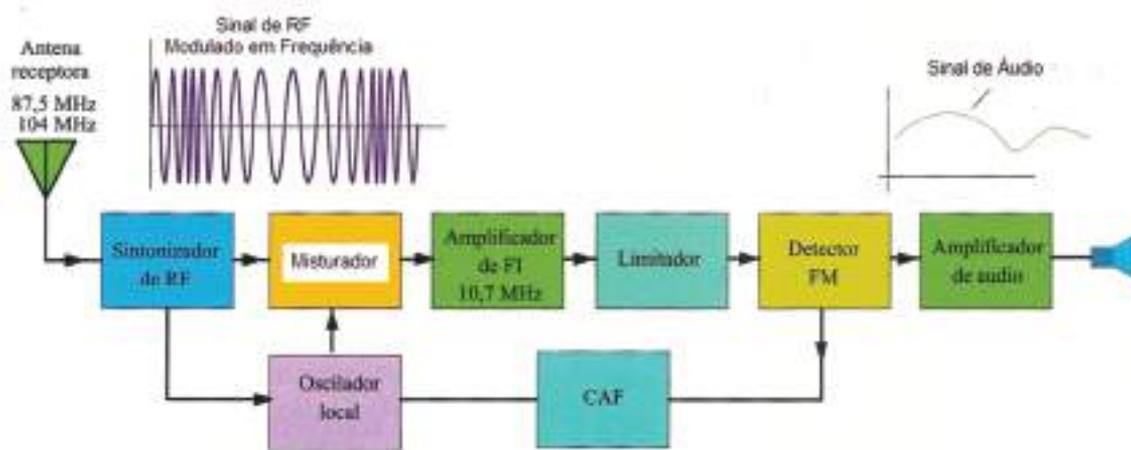


Figura 39 – Diagrama de blocos de um recetor super-heterodino para FM.

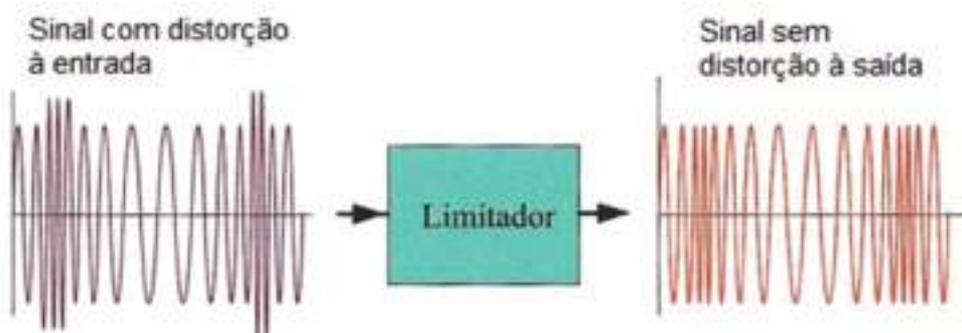


Figura 40 – O limitador suprime as interferências na amplitude do sinal.

Circuito detetor que se utiliza para desmodular o sinal FM é totalmente diferente do utilizado para AM, já que aqui deveremos converter as variações de frequência em variações na tensão do sinal. Na figura 41 é apresentado, como um exemplo, um dos circuitos que pode ser usado para realizar esta tarefa.

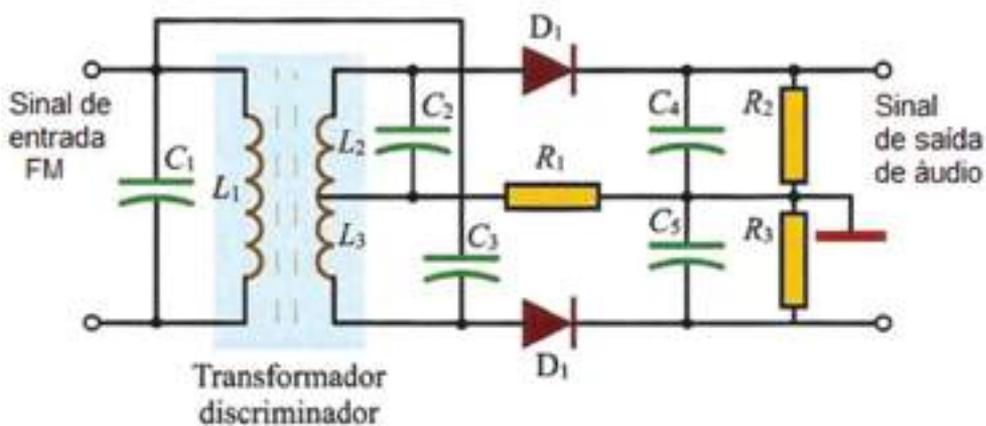


Figura 41 – Circuito detetor para FM.



Neste circuito em particular, é conhecido como um discriminador de desfasamento de fase equilibrada. Baseia-se na comparação entre a relação de fase que aparece entre duas tensões da mesma frequência, de tal forma que, embora a frequência de ambas as tensões permaneçam constantes, esta diferença também é constante. Ao produzir-se uma variação na frequência, produz-se por sua vez, uma variação da fase de ambas as tensões, levando a uma mudança na tensão de saída. O resultado é que as variações na frequência do sinal de entrada pertencentes à transportadora são convertidas em variações na tensão de saída, conseguindo assim extrair o sinal de áudio contido no sinal de RF de FM.

Finalmente, note que em recetores FM é frequentemente comum encontrar um estágio de CAF (Controlo Automático de frequência). Graças a este circuito, é possível uma maior estabilidade na frequência do oscilador local.

Perguntas de revisão

1. Explique como funciona um recetor super-heterodino para AM.
2. Explique como funciona um recetor super-heterodino para FM.
3. Esboce o diagrama de blocos de um recetor super-heterodino para AM.
4. Esboce o diagrama de blocos de um recetor super-heterodino para FM.
5. É usualmente adicionado ao recetor super-heterodino em AM um circuito auxiliar. Como se chama? Qual a sua função?
6. Qual a grande diferença nos circuitos recetores super-heterodinos para AM e FM? Como funciona este circuito?
7. Em que é que se baseia o funcionamento de um circuito detetor para FM?



Estereofonia em AF

Introdução

Na audição natural há dois critérios que possibilitam a localização de uma fonte de som. Trata-se das diferenças dos tempos de propagação do som e das diferenças da sua intensidade (volume). As diferenças dos tempos de propagação verificam-se sempre que as fontes de som não se encontram sobre o eixo central da nossa cabeça ou mesmo junto a ele. O som atinge por exemplo o ouvido esquerdo diretamente, mas para alcançar o ouvido direito tem que dar a volta a cabeça.

As diferenças de tempo que resultam disso são muito pequenas: aproximadamente $630\mu\text{s}$ para o máximo desvio de 90° e à volta de $280\mu\text{s}$ para um desvio do plano de simetria de 30° . No entanto, estas pequenas diferenças de tempo bastam para que o nosso aparelho auditivo possa determinar muito exatamente a direção do som pelo menos no que diz respeito às frequências médias e elevadas.

Esta determinação de direção é apoiada pelas diferenças de intensidade.

Ambas estas possibilidades de localização são, no entanto, dependentes da frequência. Abaixo de 300 MHz não é possível qualquer localização e abaixo de 750 Hz ela é muito difícil e bastante imprecisa. Esta característica do ouvido faz com que em alguns equipamentos estereofónicos se possa trabalhar com uma coluna de graves situada no meio e duas colunas de agudos localizadas lateralmente.

De forma análoga com as nossas duas orelhas temos agora no local de gravação, no estúdio, dois microfones, Eles estão colocados um sobre o outro e formam um ângulo de 90° entre si. A localização do som processa-se somente através das diferenças de intensidade (estereofonia XY). Para isso, utilizam-se microfones que reagem fortemente às diferenças de pressão sonoras.

A formação do sinal de soma, com dois microfones colocados um ao lado do outro, provoca dificuldades por causa da existência de posições de fase diferentes. As amplitudes dois sinais podem-se elevar mutuamente atenuar ou até anular.

Para as gravações de fitas ou discos, que por vezes proporcionam um efeito estereofónico muito forte ou até exagerado, o técnico de som tem, naturalmente, a possibilidade de utilizar vários microfones situados longe uns dos outros e de misturar as suas tensões.



Emissor estereofónico em FM

Para se obter uma impressão sonora estereofónica são necessárias pelo menos duas informações sonoras. Estas duas informações L (esquerda) e R (direita) têm que ser transmitidas do emissor para o recetor de tal maneira que no recetor possam ser outra vez separada.

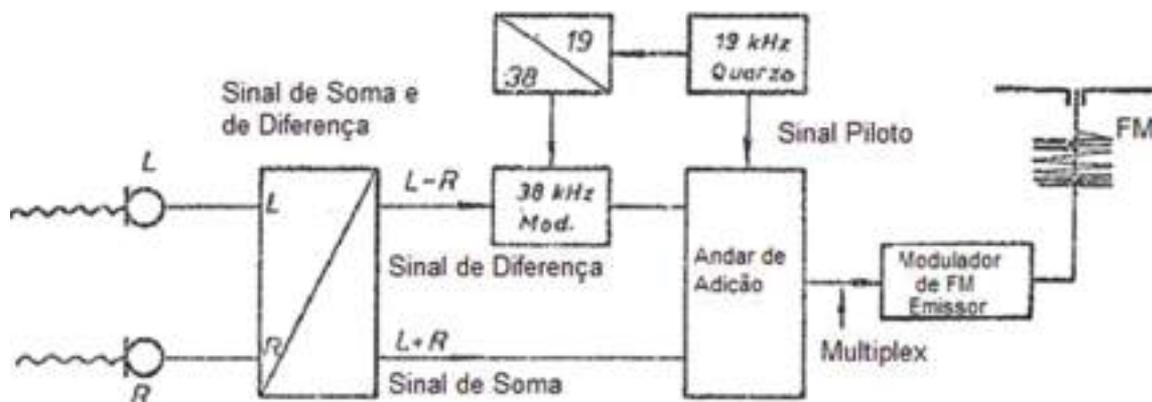


Figura 42 – Emissor estereofónico em FM.

No emissor estereofónico as duas informações da esquerda e direita são moduladas sobre a portadora de tal maneira que no recetor podem voltar a ser separadas.

Recetor estereofónico em FM

No decodificador estereofónico, o sinal multiplex é dividido nas duas informações, da esquerda e direita.

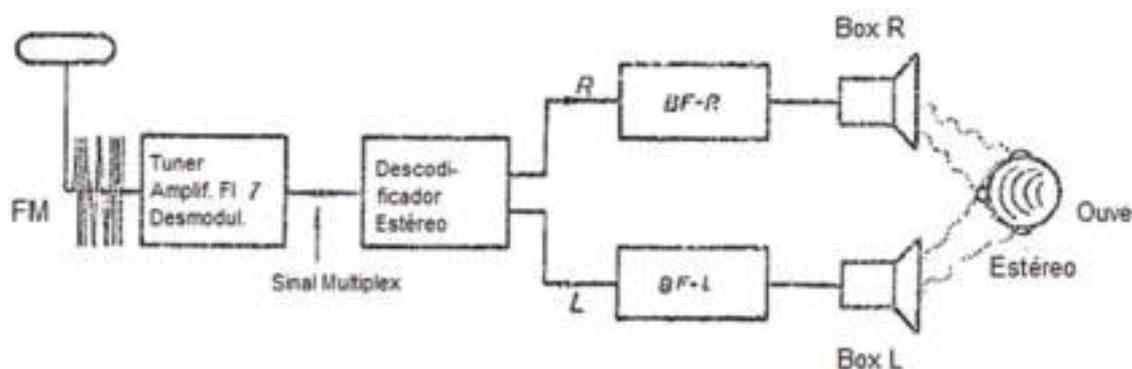


Figura 43 – Recetor estereofónico de FM.



Recetor monofónico

O recetor monofónico não pode separar o sinal estereofónico. Ele fornece-nos o sinal de soma L + R.

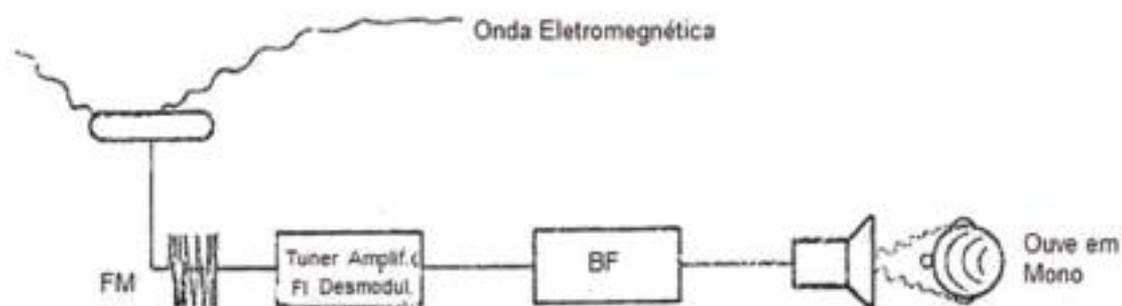


Figura 44 – Recetor monofónico.

Só na radiodifusão em ondas ultracurtas é que a qualidade de reprodução é tão elevada que vale a pena melhorá-la ainda mais com ajuda da estereofonia. Uma das principais exigências que se pôs ao sistema de transmissão foi o da compatibilidade. Na técnica, isso significa que o novo sistema tem que se dar com o anterior.

Diz-se que um sistema de televisão a cores é compatível, se com os televisores a preto e branco se puder ver uma emissão a cores, em preto e branco e com os televisores a cores se puderem ver emissões a preto e branco.

Na radiodifusão estereofónica tem que se poder receber com um recetor mono qualquer emissão estereofónica como se fosse uma emissão monofónica, sem nenhuma diminuição sensível de qualidade. Isso significa, que nas emissões estereofónicas também se transmite um sinal mono completo da maneira normal, isto é, através da modulação de frequência da portadora. Se por exemplo, só se transmitisse o sinal estéreo esquerdo (L) da forma normal e se fornecesse adicionalmente o sinal direito (R) aos recetores estereofónicos, os recetores monofónicos só poderia reproduzir metade da informação estereofónica.

Para garantir que a qualidade de transmissão dos sinais mono e estéreo através dos aparelhos monofónicos seja igual, um dos canais teria que transmitir a soma das duas informações estereofónicas (L + R). Esta, soma contém as mesmas informações como um sinal monofónico normal. Para os recetores estereofónicos emite-se, adicionalmente, o sinal de diferença (L - R).



Formação do sinal da soma e do sinal da diferença

Neste circuito adiciona-se por um lado, a informação da direita à esquerda. (saída A) e por outro subtrai-se a informação da direita à da informação da esquerda (saída B).

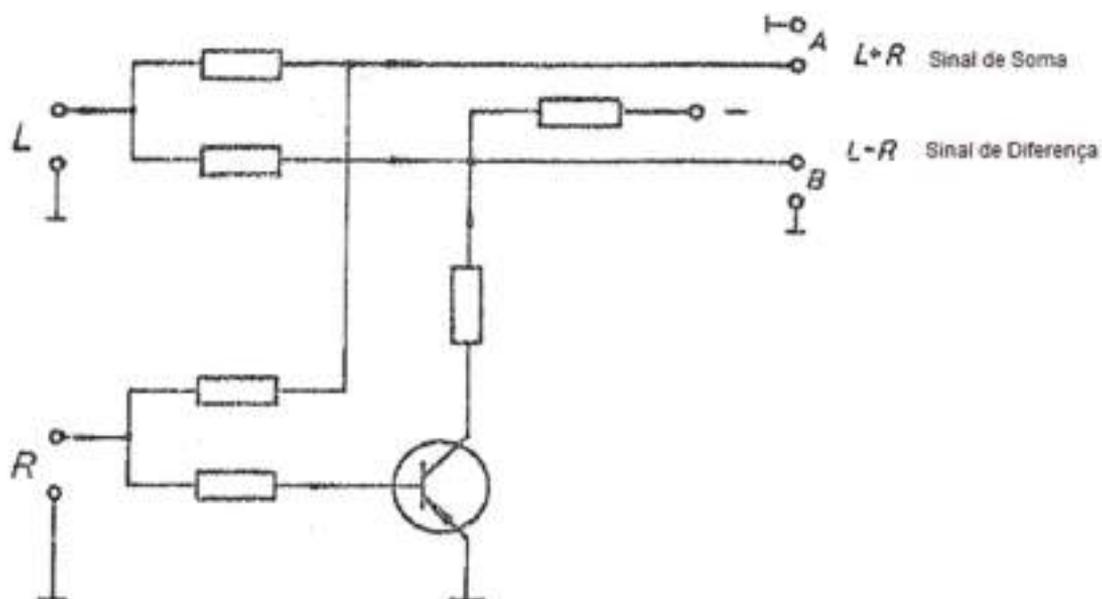


Figura 45 – Circuito de formação do sinal da soma e do sinal da diferença.

A representação seguinte explica isto com auxílio de duas tensões alternadas de frequência diferente.

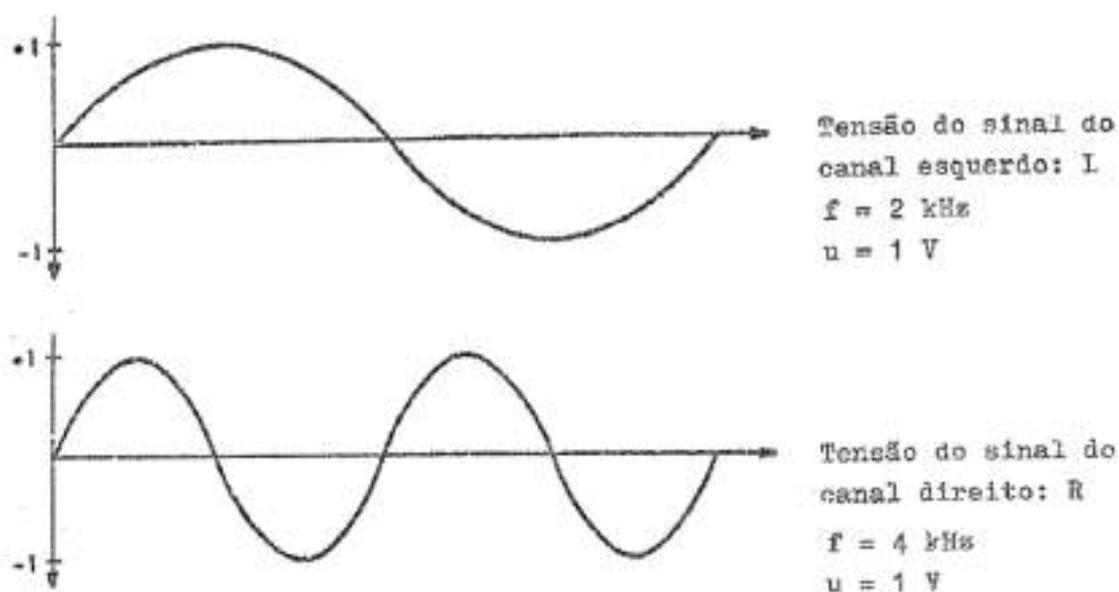


Figura 46 – Duas tensões alternadas de frequência diferente.



Para se poderem restabelecer os sinais L e R de forma correta no recetor é necessária a existência separada dos da soma ($L + R$) e da diferença ($L - R$), dado que ambos os sinais têm a mesma largura de banda passante de 30 Hz-15 kHz, tem de se ter o cuidado de nunca os juntar pois doutro modo tornar-se-ia impossível separá-los. A portadora principal é modulada da forma normal, em modulação de frequência, com o sinal de soma pois este é o sinal compatível para os recetores monofónicos.

Com o sinal de diferença modula-se em amplitude uma sub-portadora de 38 kHz, sendo suprimida a portadora (modulador em anel). Com as bandas laterais, que se formam nesta modulação, modula-se então em frequência a portadora principal, isto é, o sinal de diferença é introduzido de forma codificada na portadora.

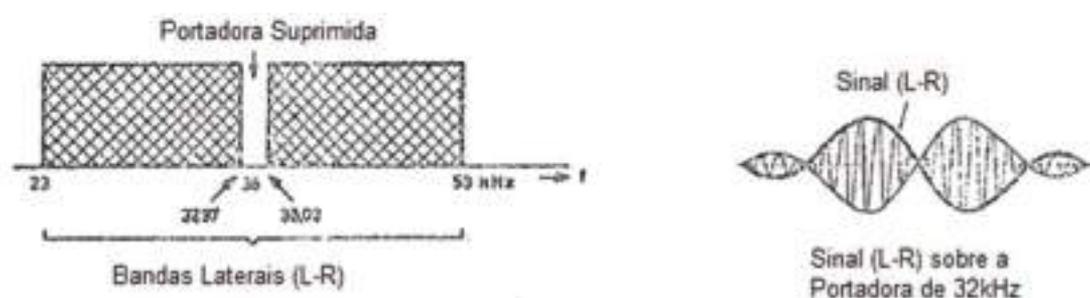


Figura 47 – Modulação da amplitude de uma sub-portadora.

Um sinal com a portadora suprimida só pode ser desmodulado, se se lhe juntar uma portadora com uma amplitude constante. Para isso, o emissor emite uma onda piloto (19 kHz), a partir da qual o decodificador pode restabelecer a portadora através de uma duplicação de frequência.

No andar de adição reúnem-se o sinal de soma ($L + R$), as bandas laterais e a onda piloto de maneira a formarem o chamado sinal multiplex, com o qual seguidamente se modula em frequência a portadora principal.

Sinal Multiplex

Se ainda se juntar o sinal ($L + R$) ao sinal ($L - R$) modulado em amplitude, obtém-se um sinal que para ser igual ao sinal multiplex completo só lhe falta a frequência piloto de 19 kHz.



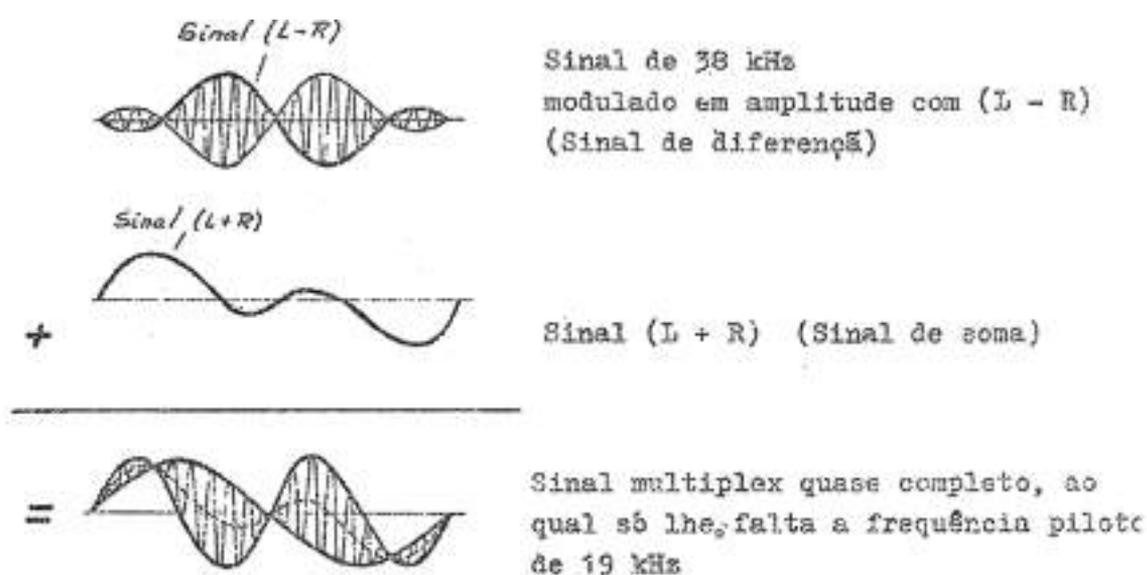


Figura 48 – Sinal Multiplex.

De certo modo, o sinal de 38 kHz modulado em amplitude utiliza o sinal (L + R) como linha de zero.

Na figura seguinte, representa-se mais uma vez o mesmo sinal, de outra forma. O sinal estereofónico “recortado” não é nada mais do que a portadora de 38 kHz modulada com o sinal (L - R) e que se encontra sobre o sinal (L + R).

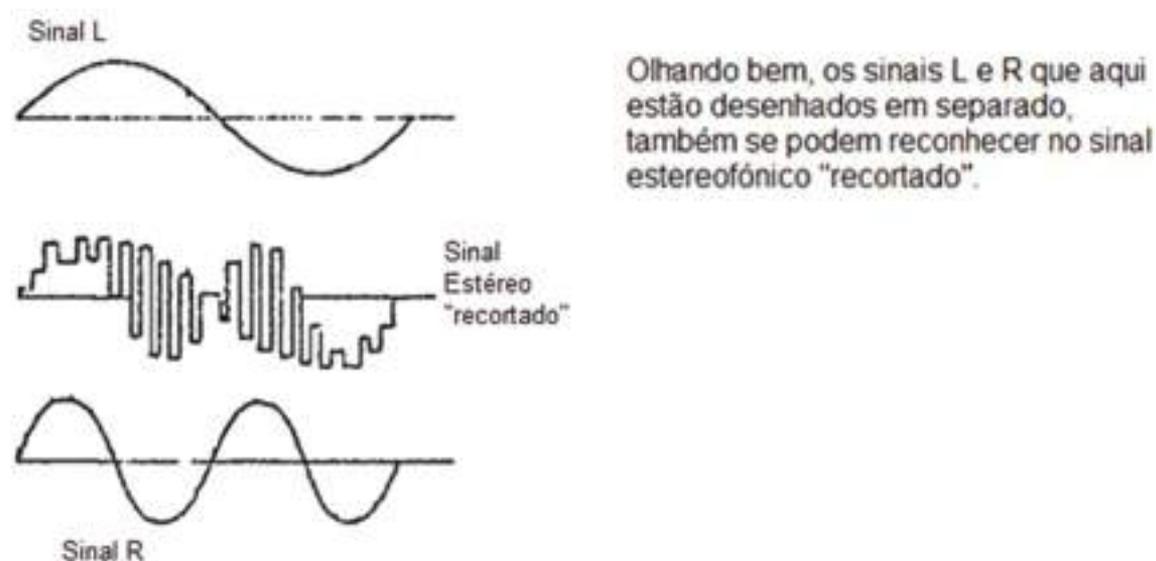


Figura 49 – O sinal estereofónico “recortado”.

Num emissor estéreo, o máximo desvio de frequência (excursão de frequência) é tal como num emissor mono, de 75kHz. Este desvio de frequência é dividido da seguinte maneira:



1% para o resto da sub-portadora, 8-10% para a onda piloto e 90% para a informação estereofónica. O desvio de frequência aproveitável é, portanto, 10 vezes menor do que nas emissões monofónicas. Ele divide-se pelo sinal de soma e de diferença consoante a localização e a intensidade das fontes de som. Através da técnica de soma e diferença pode-se usar o volume máximo, mesmo que só se tenha o sinal L ou R.

A sub-portadora é suprimida para poupar no desvio de frequência e para evitar perturbações.

O modulador em anel

Com auxílio de um circuito apropriado pode-se suprimir na modulação, a portadora Ω (omega) de uma oscilação modulada em amplitude. Na saída do modulador só aparecem então as frequências laterais $\Omega+\omega$ e $\Omega-\omega$, ou seja, as bandas laterais (ω - frequência de modulação).

A figura seguinte mostra o modulador em anel. Na sua entrada de modulação encontra-se a BF (frequência de modulação), na entrada de AF encontra-se a portadora (38 kHz em estereofonia) e na saída, temos a oscilação de 38 kHz modulada em amplitude com a portadora suprimida.

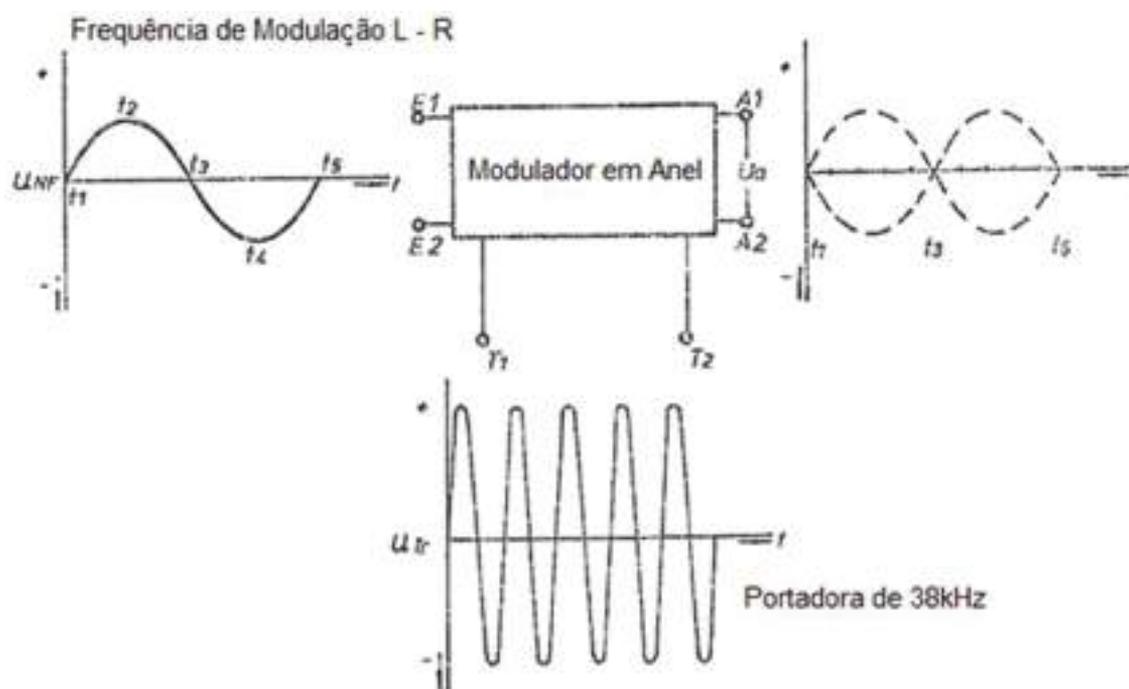


Figura 50 – Modulador em anel.



Enquanto não houver nenhuma tensão na entrada de modulação do modulador em anel, não aparece qualquer portadora modulada na saída.

Só depois de se ter uma tensão moduladora, é que aparece na saída a portadora modulada em amplitude, a qual tem sempre a amplitude da tensão moduladora. Recordemos a modulação de amplitude normal.

Modulação de amplitude sem supressão da portadora

Enquanto a tensão moduladora for igual a zero, temos aqui, na saída do modulador, o valor médio da portadora.

Na modulação com supressão da portadora, este valor médio da AF não existe. Por esse motivo, quando a tensão moduladora passa por zero também as curvas envolventes da portadora modulada são iguais a zero. Observando melhor, pode-se inclusive verificar que nessa altura a fase da portadora modulada dá um salto de 180° .

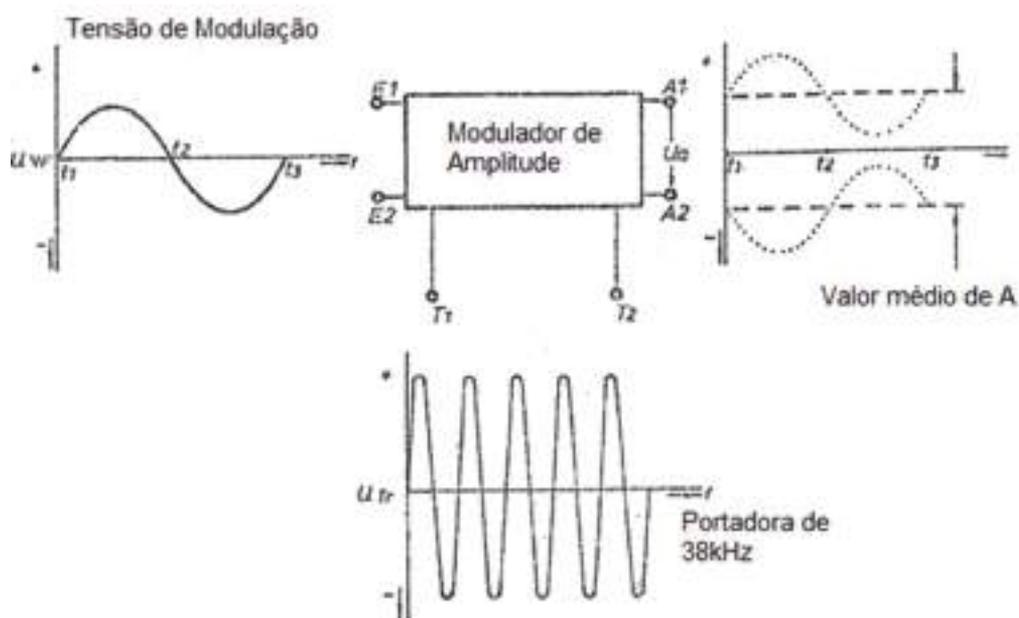


Figura 51 – Modulador de amplitude sem supressão portadora

Para que o modulador funcione perfeitamente é necessário que ele tenha uma constituição absolutamente simétrica e que os seus díodos tenham valores elétricos iguais. Além disso, a amplitude da frequência portadora deve ser grande relativamente à amplitude da frequência de modulação, a fim de que os díodos só sejam comutados pela tensão da portadora.



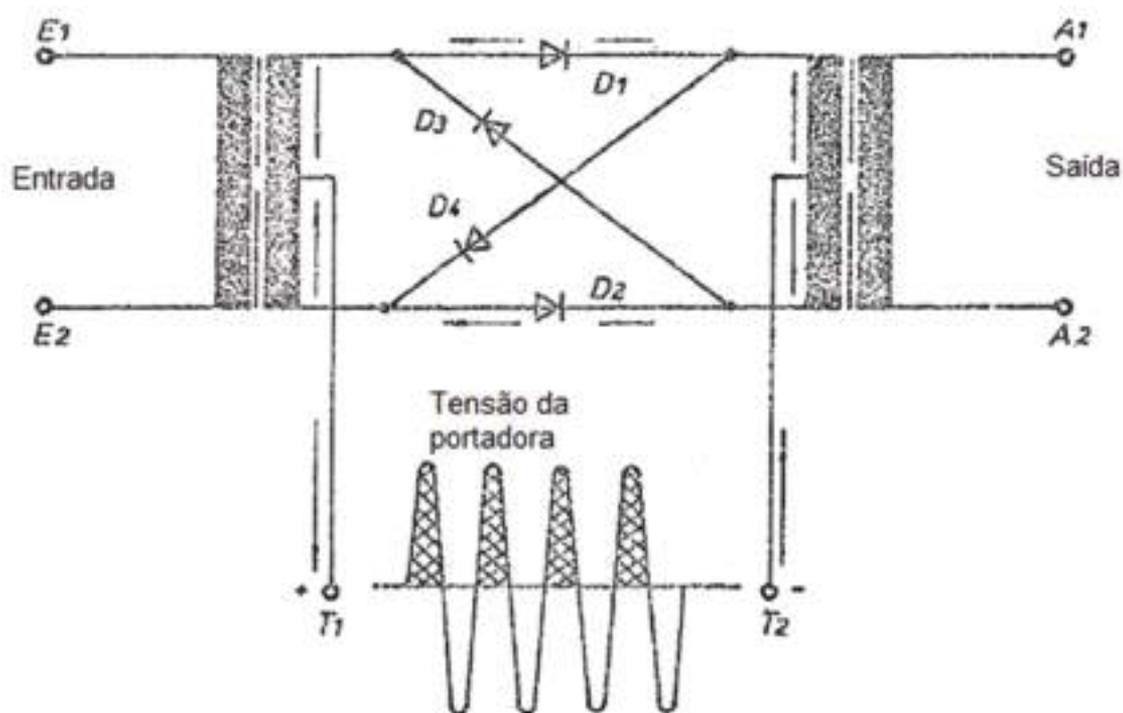


Figura 52 – Esquema elétrico do modulador em anel

A função da tensão portadora é a de abrir e fechar os pares de díodos D_1 , D_2 e D_3 , D_4 ao ritmo de 38 kHz. Durante as meias ondas positivas da portadora, D_1 e D_2 dão passagem, dado que nesse intervalo de tempo e D_3 e D_4 bloqueiam, estes díodos não são levados em conta na representação seguinte.

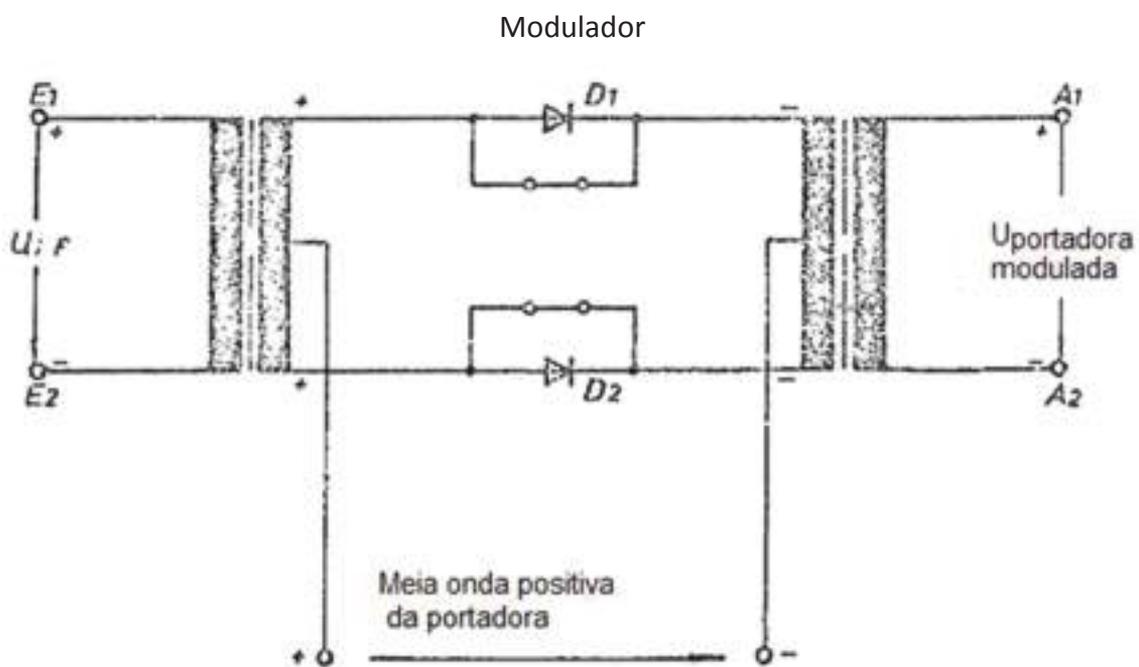


Figura 53 – Funcionamento díodos no modulador em anel na parte positiva onda.



Os díodos D_1 e D_2 e unem diretamente os dois transformadores. A tensão que se encontra na entrada de modulação é transmitida para a saída com a mesma polaridade.

Durante as meias ondas negativas da tensão portadora, os díodos D_3 e D_4 dão passagem. As duas correntes com frequência da portadora que se verificam nas metades dos enrolamentos fluem em direções opostas e anulam-se. Na saída não há nenhuma tensão portadora.

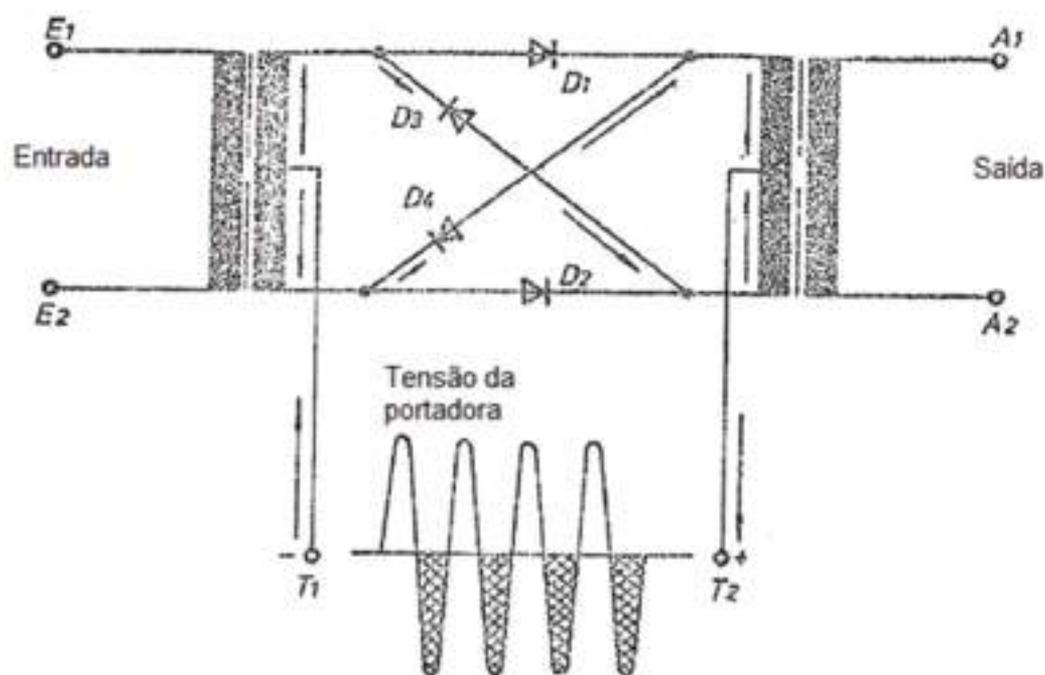


Figura 54 – Funcionamento díodos no modulador em anel.

Beata fase, D_1 e D_2 bloqueiam. Por esse motivo, não foram desenhados no circuito simplificado.

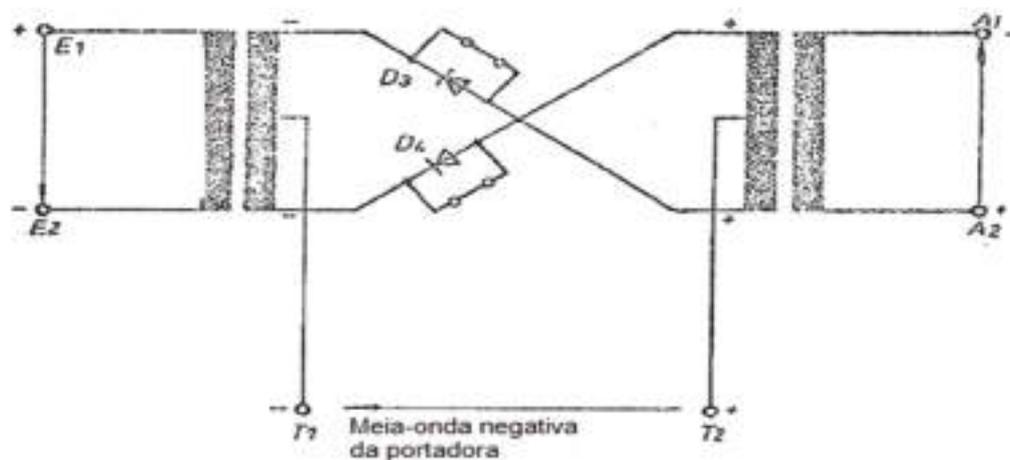


Figura 55 – Funcionamento díodos no modulador na parte negativa da onda.



Os díodos D_3 e D_4 unem os dois transformadores em causa. Por isso, a tensão moduladora que se encontra na entrada aparece na saída com polaridade oposta.

A partir do que foi dito conclui-se:

Durante a meia onda positiva da portadora, a tensão de saída encontra-se em fase com a tensão moduladora.

Durante a meia onda negativa da portadora, a tensão de saída encontra-se em oposição de fase com a tensão moduladora.

O sinal de BF que se encontra na entrada desmodulação aparece na saída recortado, ou seja, comutado ao ritmo de 38 kHz. Dado que a portadora é suprimida, obtêm-se duas curvas envolventes em simetria com a linha de zero.

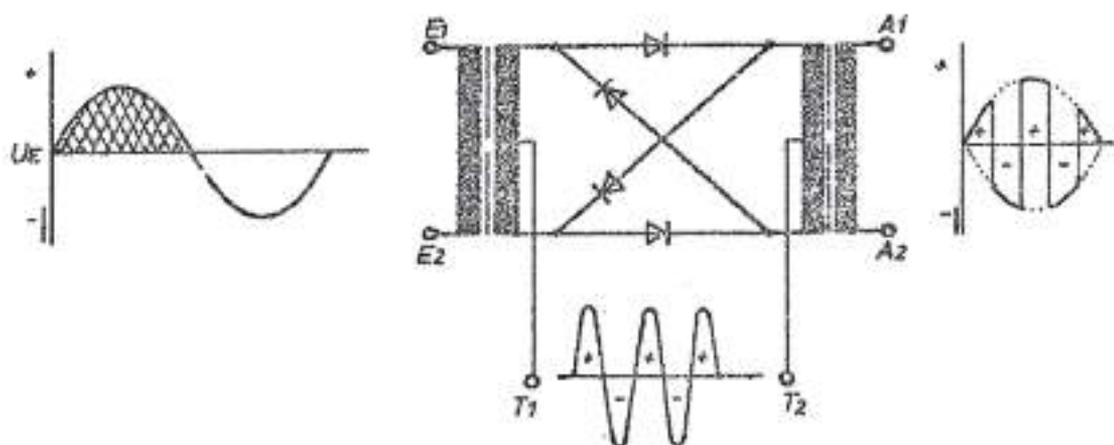


Figura 56 – Sinal de baixa frequência “recortado” na saída.

Na saída encontra-se a meia onda positiva, comutada ao ritmo de 38kHz.

Com o auxílio da representação seguinte pode-se ver a modulação durante a meia onda negativa do sinal de BF.

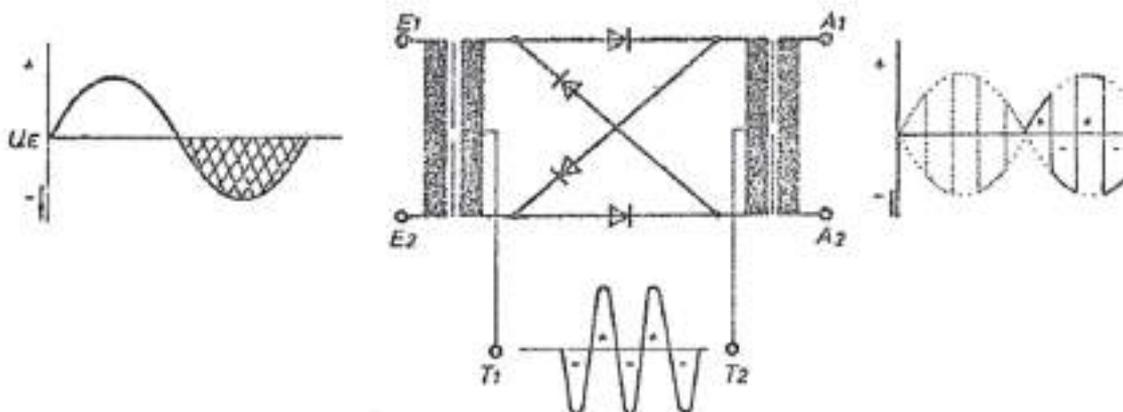


Figura 57 – Modulação durante a meia onda negativa do sinal de BF.



Enquanto na entrada do modulador se encontrar a meia onda positiva do sinal de BF, à meia onda positiva da portadora pertence uma parte positiva da tensão de saída e à meia onda negativa da portadora pertence uma parte negativa da tensão de saída.

Quando se encontrar na entrada a meia onda negativa da tensão de modulação, à meia onda positiva da portadora pertence uma parte negativa da tensão de saída e à meia onda negativa, da portadora pertence uma parte positiva da tensão de saída.

Cada vez que a, tensão moduladora passa por zero verifica-se um salto da fase, isto é, a fase da portadora modulada e suprimida que se encontra na saída do modulador dá um salto de 180° .

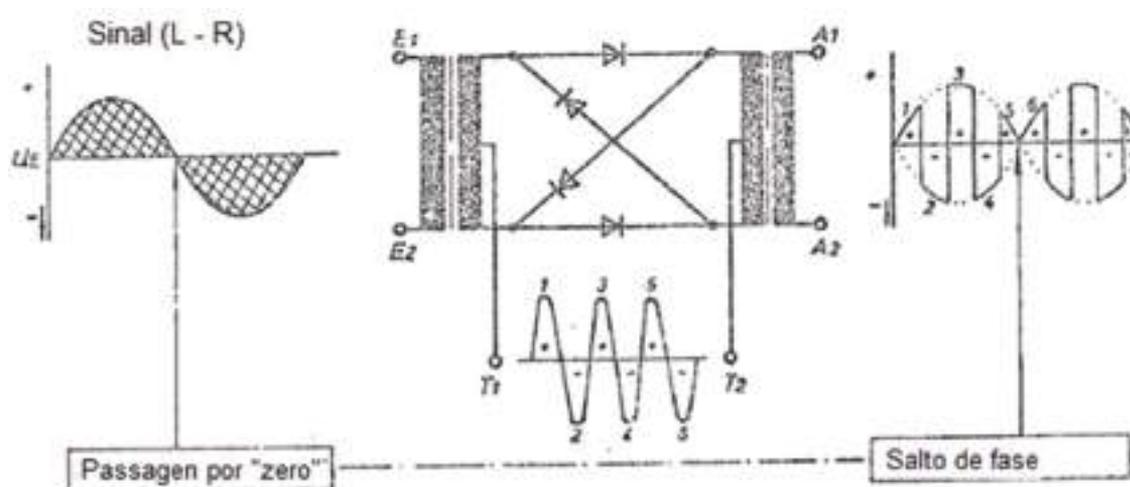


Figura 58 – Tensão moduladora que passa por zero verifica-se um salto da fase.

Este salto da fase é característico da modulação de amplitude com supressão da portadora.

As duas curvas envolventes da tensão de saída são simétricas. O valor médio da portadora durante um período do sinal de BF é igual a zero. Por esse motivo, a frequência da portadora não se encontra no espectro de modulação.



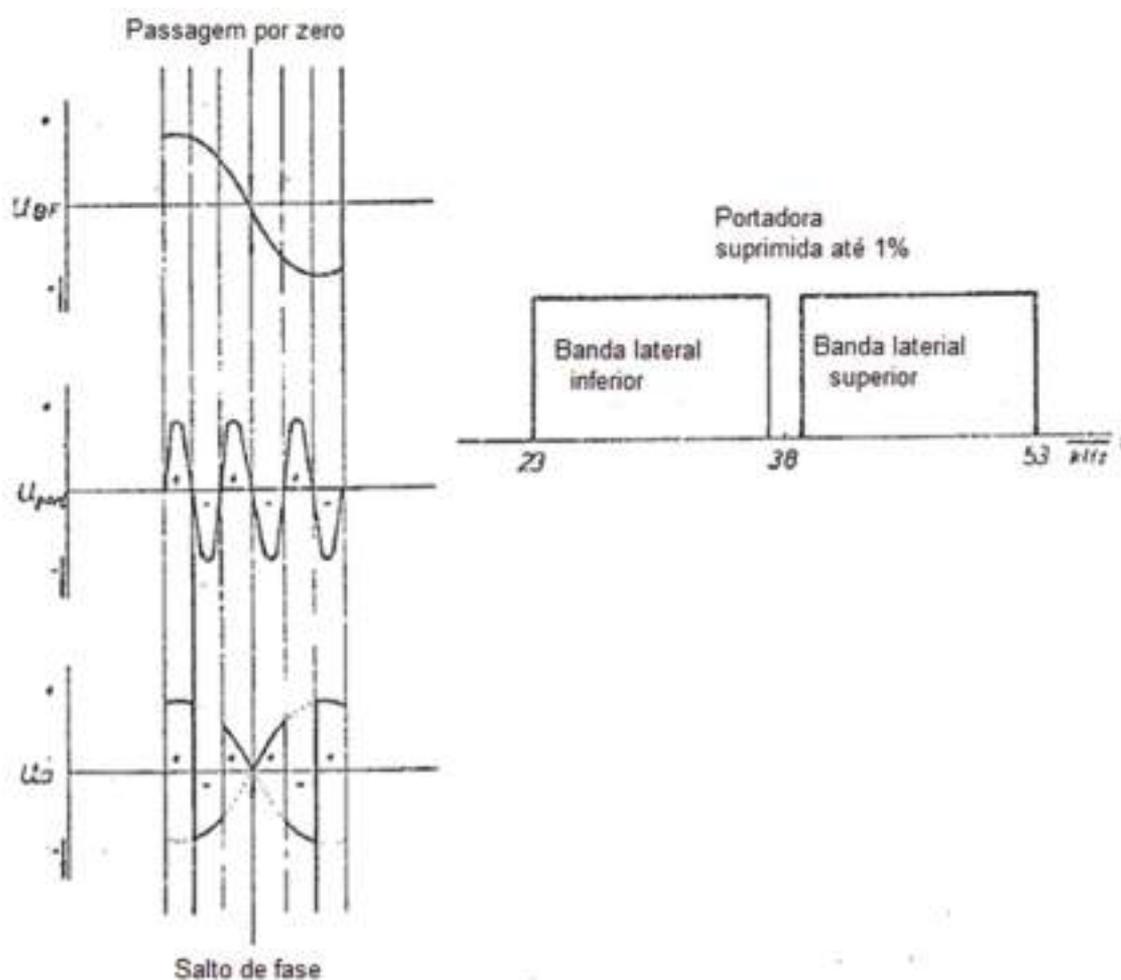


Figura 59 – Tensão de saída com o salto de fase.

Perguntas de revisão

1. Para se obter uma impressão sonora estereofónica são necessárias pelo menos duas informações sonoras. Quais são?
2. Qual a diferença entre o recetor estereofónico em FM e o monofónico?
3. O que é um Sinal Multiplex?
4. O que é um modulador em anel? Como funciona?
5. Faça o esquema eléctrico de um modulador em anel.



Recetor de Rádio e Medições

Interferências por frequência-imagem

A frequência intermédia f_{FI} de um recetor super-heterodino é obtida através da mistura da frequência do oscilador f_0 com a frequência de entrada f_e . Se houver um emissor com uma frequência igual a $f_0 + FI$ que, por causa de um mau circuito de entrada, penetre até ao andar misturador, o emissor f_{IM} forma, com o oscilador de f_e também a frequência intermédia f_{FI} .

A FI desejada resulta de:

$$f_{FI} = f_0 - f_e$$

A frequência indesejada é formada por:

$$f_{FI}' = f_{IM} - f_0$$

O emissor que provoca a interferência por frequência-imagem encontra-se acima da frequência de receção f_e num valor igual ao dobro da FI.

$$f_{IM} = f_e + 2 * f_{FI}$$

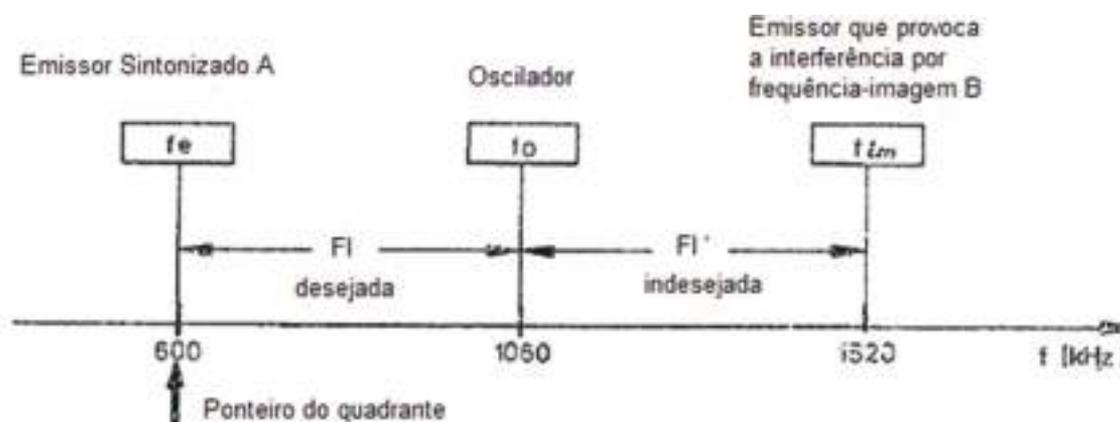


Figura 60 – Análise da frequência-imagem.

O emissor A (600 kHz), que se encontra sintonizado é convertido na FI pelo oscilador. Através do altifalante soa a sua modulação. Se o emissor B (1520 kHz), que se encontra acima do emissor A num valor igual ao dobro da FI, atingir também o andar misturador é convertido da mesma forma pelo oscilador na FI'. Assim, ouvem-se as duas modulações.



Se em 600 kHz não existisse nenhum emissor, quando o ponteiro do quadrante estivesse sobre 600 kHz, ouvir-se-ia só a modulação do emissor B (1520 kHz). O emissor B ouve-se, uma vez em 1520 kHz e, outra vez numa frequência inferior ao dobro da FI, ou seja, em 600 kHz. Este fenómeno é designado por receção dupla.

Um emissor interfere noutro emissor que se encontre mais abaixo numa frequência igual ao dobro da FI.

Um emissor é interferido por outro emissor que se encontre mais acima numa frequência igual ao dobro da FI.

(Condição: O oscilador oscila com uma frequência superior a fe).

Na gama de ondas médias, o circuito de entrada ainda é relativamente seletivo, de modo que aqui consegue-se uma supressão de ondas imagem suficientemente grande sem grande dispêndio de meios. Em ondas curtas a relação entre fe e FI é muito maior e o circuito, de entrada muito pior, verificam-se frequentemente interferências por frequência-imagem, ou seja, receções duplas.

Exemplo:

Um emissor com a frequência 1602 kHz aparece, fraco, em 682 kHz com uma frequência-imagem. Pode-se demonstrar que não se trata de um emissor com esta frequência, fazendo desaparecer este emissor em 682 kHz através da ligação à antena de um circuito rejeitor afinado em 1602 kHz.

Para está demonstração, no entanto, tanto o circuito rejeitor, como a união entre o circuito rejeitor e o recetor, como a bobina do circuito de entrada têm que estar bem blindadas pois doutro modo a irradiação direta não deixa desaparecer o emissor. Deve-se desligar a regulação anti-fading, pois senão esta procura compensar o efeito do circuito rejeitar.

Se o emissor que provoca a interferência por frequência-imagem formar com o oscilador uma FI, que se diferencie da FI resultante da mistura do oscilador com a frequência de receção, num valor igual a uma frequência áudio, aparece um silvo com frequência-imagem. O silvo é sintonizável e apresenta uma lacuna de batimento: se, por exemplo f_0 se aproximar de f_{im} reduz-se a distância entre f_0 e f_{im} enquanto a distância entre f_0 e fe aumenta. Como ambas as distâncias dão origem a duas frequências intermédias, que produzem um som de diferença através da sua mistura aditiva no díodo do desmodulador, a altura do som modifica-se sempre que a f_0 se modificar ao sintonizar o recetor.



Como a seguir ao andar misturador já não é possível separar o emissor que provoca as interferências por frequência-imagem do emissor desejado, dado que ambos dão origem à mesma FI, uma frequência-imagem só pode ser suprimida antes de entrar no andar misturador, isto é, por um bom circuito de entrada. Por esse motivo utilizam-se muitas vezes vários circuitos de entrada (entrada com filtro passa-banda) ou vários andares preliminares.

Outra possibilidade de afastar as interferências por frequência-imagem é a de elevar a FI de tal maneira (por exemplo para 2 MHz) que o lugar sensível à frequência-imagem, que se encontra a uma distância igual ao dobro da FI, venha a ficar muito fora da faixa de receção.

Duplo Super-Heterodino

No duplo super-heterodino, a frequência de entrada f_e é convertida primeiro numa FI muito elevada (aqui 1,85 MHz). Através desta medida, as frequências passíveis de provocarem interferências por frequência-imagem ficam muito acima de f_e e deixam de poder interferir. A primeira frequência intermédia é a frequência de entrada do segundo andar misturador. Como ela é sempre igual, o segundo oscilador pode ser um oscilador fixo. Nos recetores de ondas curtas de alta qualidade, utilizam-se aí osciladores de quartzo. A segunda mistura fornece a FI normal de 460 kHz ou, em recetores de OC especiais, também uma frequência ainda mais baixa (50 - 200 kHz).

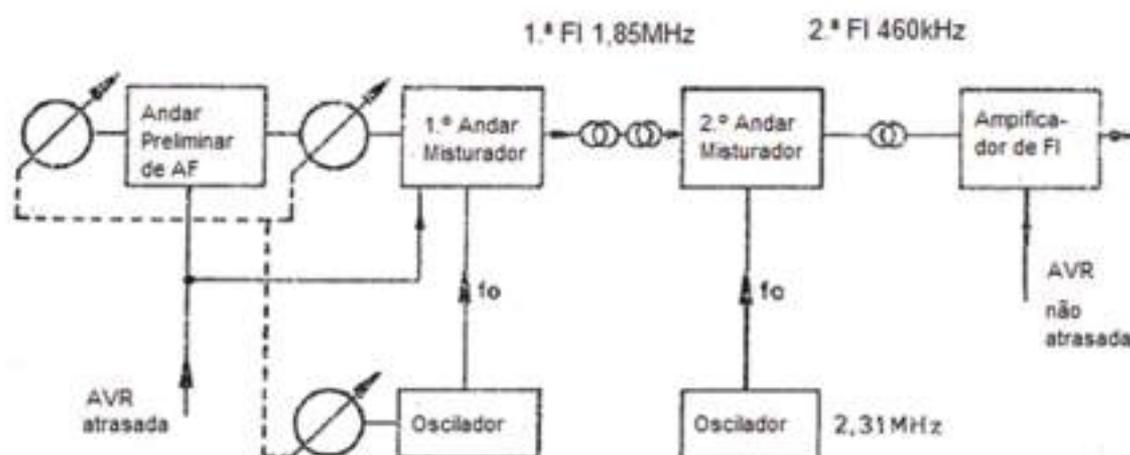


Figura 61 - Diagrama de blocos de um recetor duplo super-heterodino de ondas curtas de alta qualidade.



A fe vai através de um andar preliminar de AF sintonizado e de um circuito intermédio sintonizável para o primeiro andar misturador.

A elevada FI que aqui se obtêm é enviada através de um filtro seletivo de quatro circuitos para o segundo andar misturador.

A supressão de ondas imagem que assim se obtêm é extremamente elevada. Na banda de 49m é de aproximadamente 70 dB e na banda de 11m ainda é de aproximadamente de 40 dB. Para que as possibilidades de que sejam originadas interferências dentro do aparelho se mantenham reduzidas, a primeira FI foi fixada em 1,85 MHz.

O andar preliminar de AF

Para possibilitar a melhor receção possível, as gamas de AM dos aparelhos caros são equipadas com um andar preliminar de AF sintonizável. A supressão dos emissores afastados é melhorada, deste modo, consideravelmente e, além disso aumenta-se a sensibilidade. Naturalmente que para um andar destes tem que se utilizar um transístor com pouco ruído de fundo. Assim, para uma relação sinal/ruído de 26 dB necessita-se por exemplo, de uma tensão de entrada em ondas médias de aproximadamente, $60\mu\text{V}$. A supressão de ondas imagem que se obtêm com um andar de entrada deste tipo situa-se, em ondas médias, também entre 70 e 80 dB.

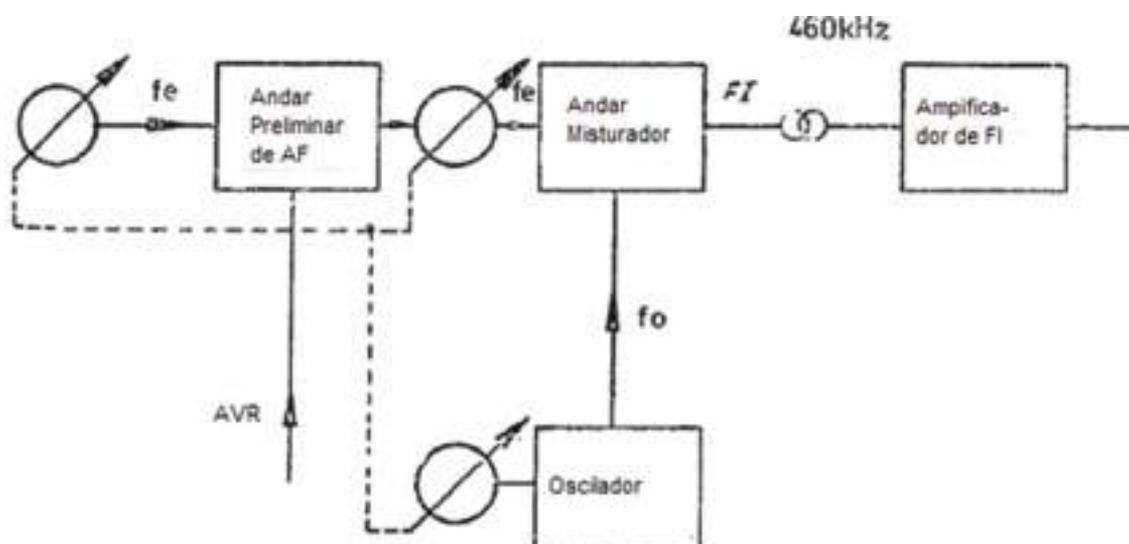


Figura 62 - Diagrama de blocos de um andar de entrada de AM com andar preliminar de AF.



Perguntas de revisão

1. Indique qual ou quais os métodos que conhece para afastar as interferências por frequência-imagem.
2. Especifique o princípio de funcionamento do Andar de AF. Esboce o seu diagrama de blocos.
3. O que provoca a denominada Interferência por frequência-imagem?



Teste de Avaliação Final

Teste de Autoavaliação

1. Como se chama o processo de introdução da informação numa onda eletromagnética de RF?
 - a) Detecção.
 - b) Modulação.
 - c) Desmodulação.

2. Ao circuito que efetua a seleção do sinal num recetor de rádio é conhecido por:
 - a) Um sintonizador ou RF.
 - b) Limitador.
 - c) Recetor super-heterodino.

3. Que nome recebe a onda eletromagnética de alta frequência que muitas vezes serve como um veículo para a transmissão de informações de áudio por rádio?
 - a) Moduladora.
 - b) Portadora.
 - c) Banda Lateral.

4. A qualidade de uma transmissão de rádio melhora substancialmente com o sistema:
 - a) Modulação em amplitude AM.
 - b) Modulação em Frequência FM.
 - c) Usando frequências baixas na portadora.

5. O processo de deteção num recetor AM consiste em:
 - a) Converter variações de frequência em variações de tensão.
 - b) Modular o sinal recebido.
 - c) Retificar e filtrar o sinal de alta frequência.



6. O processo de deteção num recetor FM consiste em:

- a) Converter as variações de frequência em variações de tensão.
- b) Modular o sinal recebido.
- c) Retificar e filtrar o sinal de alta frequência.

7. Um recetor super-heterodino é caracterizado por:

- a) Converter variações de frequência sobre em variações de tensão.
- b) Converter a portadora de RF a uma fixa chamada de intermédia.
- c) Conseguir eliminar a interferência e aumentar a seletividade do sintonizador.

8. A frequência intermédia típica de um recetor super-heterodino AM é:

- a) 10,7 MHz.
- b) 455 KHz.
- c) 1000 KHz.

9. O circuito limitador:

- a) Atenua as variações de frequência no sinal de um recetor de FM.
- b) Limita o número de estações recebidas num recetor de rádio.
- c) Atenua a amplitude do sinal FM de RF por forma a eliminar as interferências.



Trabalhos Laboratoriais

Trabalho n.º1 - Construção de um recetor simples de AM

Na Figura 63 é apresentado o respetivo circuito de um recetor simples de AM. Este circuito tem duas partes distintas:

- À parte dedicada à deteção de sinal do conjunto constituído pela bobina L, o condensador C₁ e o díodo de deteção D₁.
- À secção de amplificação do sinal constituído essencialmente pelo amplificador integrado LM386 de radiofrequência.

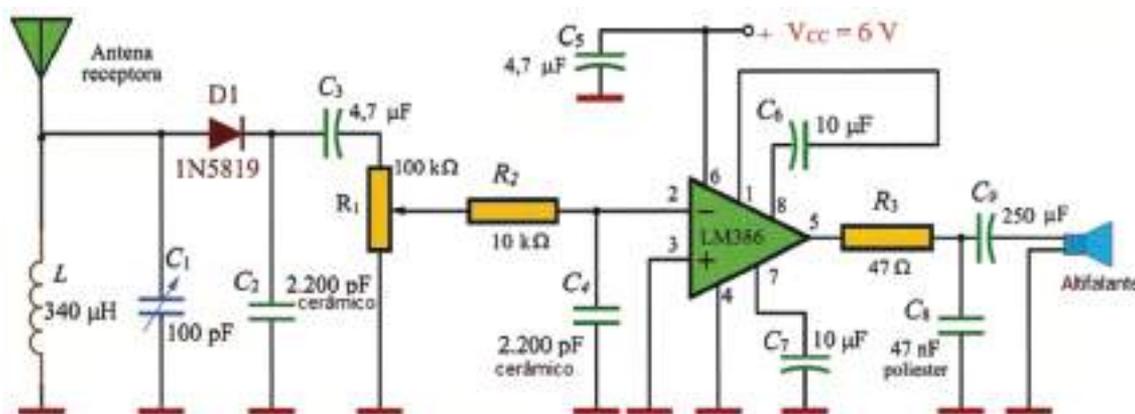


Figura 63 – Circuito de um recetor de AM.

A antena capta as ondas eletromagnéticas, transmitidas pelas diferentes emisoras e faz chegar ao circuito ressonante formado pela bobina de montagem L, o condensador C₁. Modificando a capacidade do condensador variável pode-se também alterar a frequência de ressonância o circuito sintonizador LC para alcançar a estação/emissora desejada. Este sinal é aplicado no díodo de deteção Schottky em combinação com os condensadores C₂ e C₃, de modo a realizar o processo de demodulação do sinal de AM. Uma vez desmodulado o sinal, amplificamos-lho com o amplificador integrado de radiofrequência LM386, que consegue elevar o sinal a um nível suficiente para ligação a um altifalante. Para ajustar o som do altifalante utiliza-se o potenciómetro R₁.

Monte o circuito numa breadboard ou realize-o numa placa de circuito impresso com a ajuda do professor e verifique as diferentes magnitudes que lhe forem dadas pelo multímetro e osciloscópio.



Trabalho n.º2 - Construção de um recetor de FM

Introdução - Um rádio completo na banda dos 88-108 MHz

No nosso dia-a-dia, a eletrónica é uma das poucas disciplinas técnicas na qual o passatempo e a profissão têm uma fronteira bastante confusa, para não dizer quase inexistente.

Nem sempre as ideias brilhantes ou as inovações têm tido origem nalguma prestigiosa universidade. Existem muitos casos em que essas inspirações surgiram dos recantos mais sombrios, de sótãos polvorentos ou mesmo de caves húmidas onde a pobreza não diminuiu a genialidade de cérebros privilegiados. Os modernos integrados especializados estragam um pouco a diversão, mas em compensação fazem com que seja acessível para os principiantes a realização de dispositivos complexos, como por exemplo o recetor de FM que propomos neste trabalho laboratorial.

Configuração Moderna

O princípio básico é o do recetor super-heterodino, mas existe uma diferença importante com respeito aos recetores FM clássicos, dos quais existe uma grande variedade.

A frequência intermédia é muito baixa: 70 kHz em vez dos clássicos 10,7 MHz; este facto permite eliminar as bobinas de frequência intermédia, utilizando filtros ativos com amplificadores operacionais e condensadores.

A frequência imagem não desejada encontra-se na margem da banda reservada pelo próprio sinal, isto é, no silêncio entre uma emissora e outra.

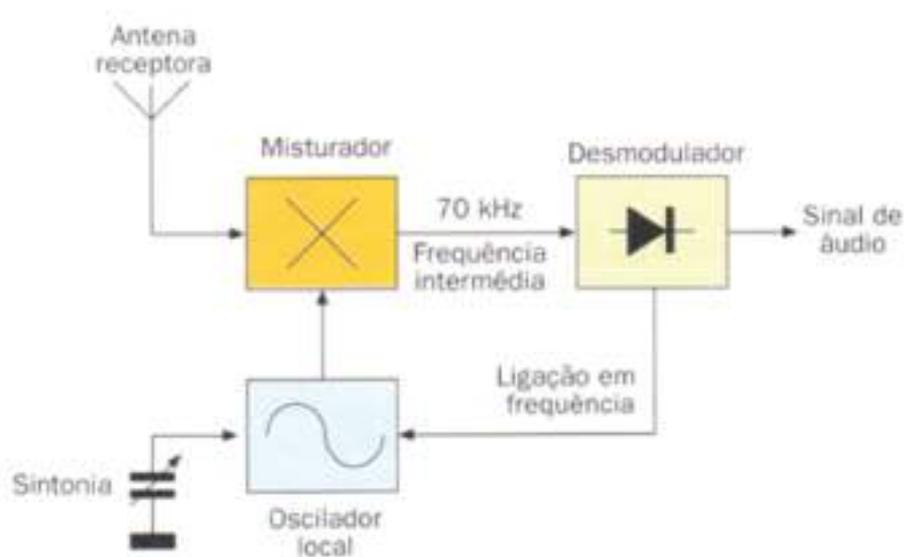


Figura 64 – Diagrama de blocos de um circuito recetor FM.



Utilizar o recetor

O principal uso de um recetor FM consiste, naturalmente, em ouvir emissoras de rádio na banda FM (88-108 MHz), que no nosso país estão presentes num número quase excessivo.

Dadas as pequenas dimensões e o amplificador de áudio incorporado (capaz de controlar um pequeno altifalante) o circuito é adequado, para além do uso na posição fixa, como dispositivo portátil com pilhas.

Quando se utiliza o recetor FM com o rádio microfone FM proposto na lição anterior, obtém-se um interfone sem fios, além da satisfação de se ter construído uma instalação de rádio completa.

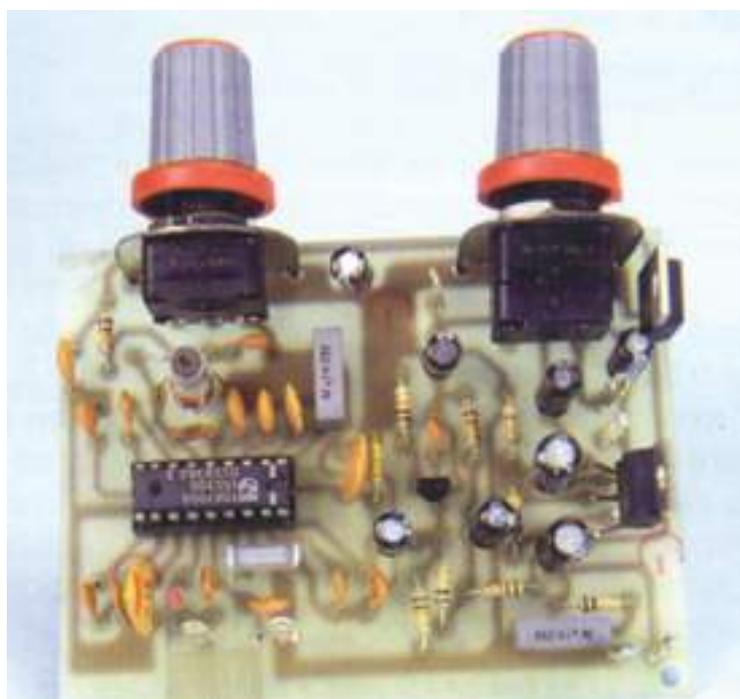


Figura 65 – O circuito do recetor FM já terminado.

Montagem do circuito

A utilização de dispositivos específicos, como os dois integrados IC1 e IC2, reduz muito a lista dos materiais, mas para obter um completo recetor FM é necessário, em todo o caso, de um certo número de componentes. A base do circuito impresso é de pequenas dimensões, como se pode ver na figura, e o amplo espaço dos componentes não requer muita experiência prática no uso do soldador.



Como já é habitual, deve-se começar pelos componentes de menor altura (as resistências), e continuar gradualmente a partir dos de dimensões crescentes, montando por último os dois volumosos potenciômetros.

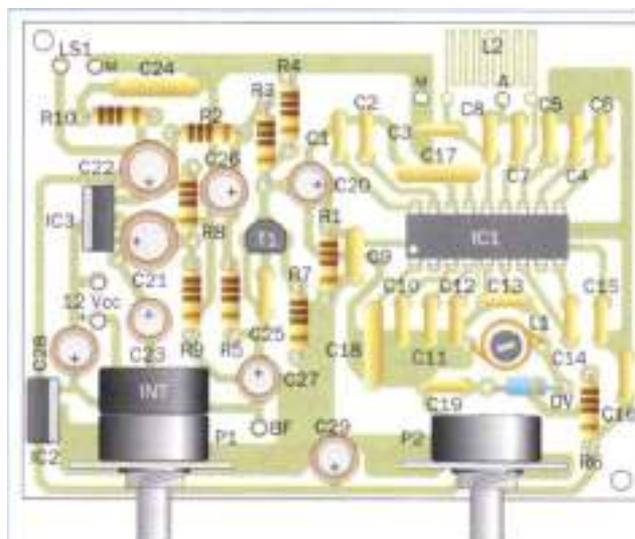


Figura 66 – Disposição dos componentes na base do recetor FM.

Melhor sem alvéolo

Para todos os componentes polarizados, ou seja, diodo, transistor, condensadores eletrolíticos e circuitos integrados, é necessário, como sempre, respeitar a orientação correta, indicada no plano da montagem. Os integrados IC2 e IC3 vão soldados; nem sequer para o IC1 convém utilizar um alvéolo: as minúsculas capacidades entre os pinos e a indução dos mesmos levariam à degradação das características do recetor.

Quando se soldam os circuitos integrados devemos recordar que se deve fazer uma pausa de 3- 4 segundos depois de cada pino, para dar tempo ao chip a arrefecer, enquanto espera a seguinte soldadura.

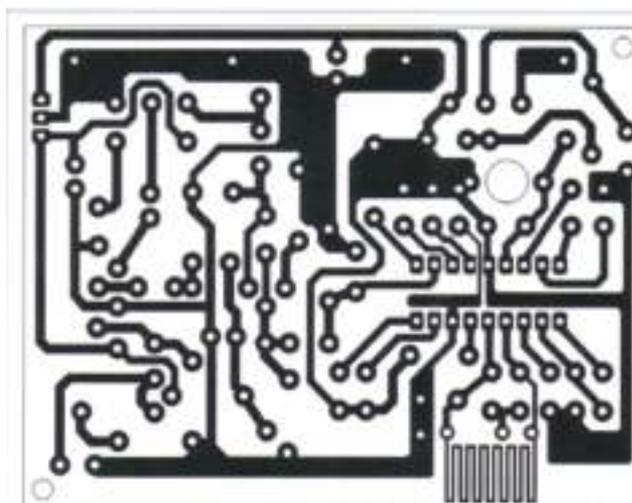


Figura 67 - Circuito impresso do recetor FM, visto pelo lado das pistas de cobre.



Bobinas

Dado que a bobina de entrada do L2 foi realizada diretamente no circuito impresso, apenas falta **enrolar** manualmente o L1, que é o importante indutor do circuito ressonante do oscilador local.

Este último está formado por 6 espirais de fio de cobre esmaltado de 0,5 mm de diâmetro, enroladas sobre um suporte de plástico de 6 mm com núcleo **regulável** através de um parafuso, adequado para frequências à volta de 100 MHz. Antes de soldar o extremo do fio esmaltado, é preciso eliminar (raspando com uma lâmina, umas tesouras ou tela esmeril fina) o estrato transparente **isolador** que o reveste, já que de outro modo resulta impossível efetuar a soldadura.



Figura 68 - Enrolamento da bobina L1; para a manter no seu lugar pode-se cruzar os fios um par de vezes.

Alimentação e altifalante

Dado que o circuito funciona com 12 V, é possível utilizar tanto uma alimentação fixa como uma de baterias; a duração das mesmas depende do volume de áudio, e, portanto, é máxima com um auscultador.

No caso de se desejar utilizar uma fonte de alimentação ligada à rede, a figura mostra como se deve realizar o circuito clássico, pelo que será conveniente acrescentar um fusível de 100mA semiatrasado (T) no primário. O altifalante deve ter uma impedância de 8 W ou superior; no seu lugar também é possível ligar um auscultador, tendo o cuidado de não exagerar com o volume para não causar danos nos ouvidos.



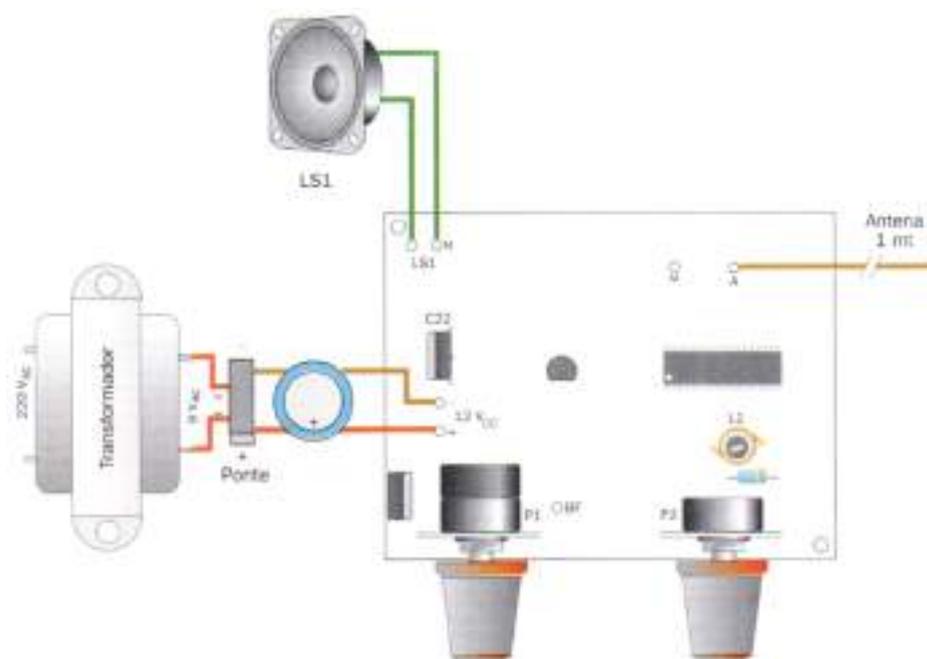


Figura 69 - Ligações externas com o recetor, com possível fonte de alimentação da rede.

Antena e teste

Depois de ligada a antena (um metro de fio entrançado flexível, isolado e ligado ao terminal A), não é necessário nenhum instrumento para verificar o correto funcionamento do circuito.

Basta ouvir: o P2 sintoniza as emissoras, ao passo que o P1 controla o volume; o L1 regula-se (com uma chave de fendas anti indutiva) de modo que a rotação do P2, incluída toda a banda, seja de 88 a 108 MHz.

Se o circuito for montado num painel, com um pouco de paciência podem-se marcar no próprio painel algumas frequências de referência (por exemplo, de 5 em 5 MHz), correspondentes às diferentes posições do P2.

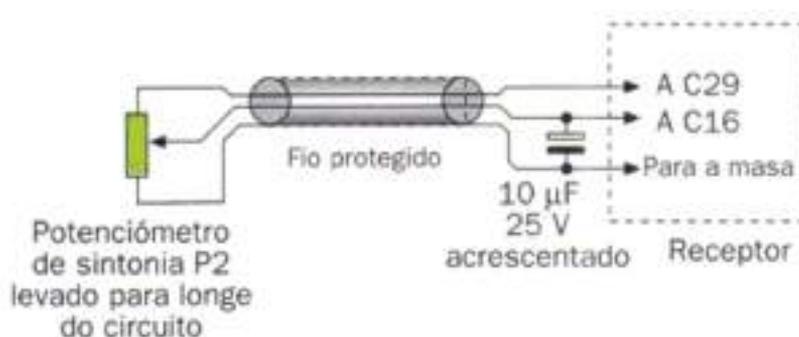


Figura 70 - Dado que a sintonia está controlada em tensão, também pode ser controlada à distância com um potenciômetro situado longe do recetor.



Sobreposição

Em algumas zonas onde estão presentes **numerosas** emissoras de rádio de elevada potência, especialmente na cidade, é possível que o circuito se torne confuso, deixando entrar algumas interferências, ou mesmo que se ouça muito mal.

Este problema pode ser devido ao facto de, na banda de frequências, estarem algumas emissoras que emitem **muito perto** umas das outras.

Neste caso, às vezes pode ser útil atenuar o sinal, por exemplo reduzindo o comprimento do fio da antena, de modo a que não se sobrecarregue a sensível entrada do recetor.

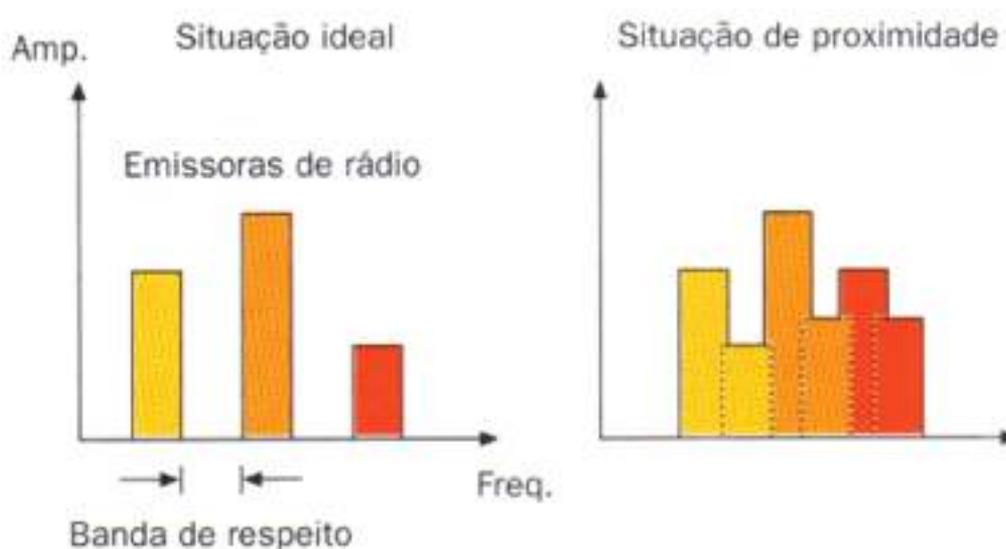


Figura 71 - A situação de proximidade de algumas emissoras ocasiona com frequência problemas para os recetores de rádio.

Funcionamento do circuito

A antena envia o sinal para o circuito ressonante da entrada, composto pelos L2, C7 e C8, que, ao contrário dos recetores de FM tradicionais, não se ajusta com a variação da sintonia. O oscilador local é controlado através do L1 e C3, este último em paralelo com o varator DV, que se comporta como condensador variável controlado em tensão e, portanto, controlado pelo P2.

Os numerosos condensadores ligados ao IC1 desenvolvem várias funções de desajustamento e, entre outros fatores, o do controlo dos filtros ativos internos no integrado, que substituem a tradicional “frequência intermédia”.



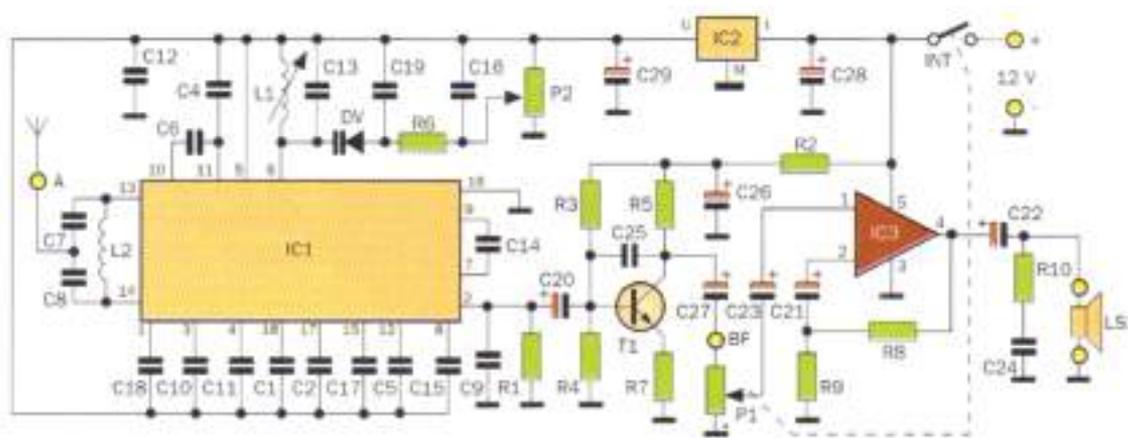


Figura 72 - Esquema elétrico do recetor FM: à esquerda a parte da radiofrequência e à direita a secção de áudio.

Amplificador de áudio

O sinal de áudio, que sai do desmodulador FM incorporado no IC1, está disponível no pino 2 e, através do C20, alcança a etapa pré-amplificadora construída à volta do transistor T1.

O integrado IC3, que recebe o sinal do potenciômetro de volume P1, constitui a etapa da amplificação final, que controla diretamente tanto o altifalante como o auscultador. O grupo RC, que está composto pelos R10 e C24, tem a importante missão de evitar oscilações automáticas com frequência ultrassónica, que poderiam danificar tanto o amplificador como o altifalante.

O IC2, finalmente, é um regulador de tensão, que garante ao IC1 uma alimentação estabilizada, de modo que a estabilidade da sintonia não registre possíveis variações dos 12 V da alimentação do circuito.

Lista de componentes

Resistências

R1 = resistência de 22k Ω (vermelho, vermelho, laranja)

R2 = resistência de 1k Ω (castanho, preto, vermelho)

R3 = resistência de 100k Ω (castanho, preto, amarelo)

R4, R5, R6 = resistências de 10k Ω (castanho, preto, laranja)

R7 = resistência de 15k Ω (castanho, verde, laranja)

R8 = resistência de 470 Ω (amarelo, violeta, castanho)



R9 = resistência de $4,7\Omega$ (amarelo, violeta, ouro)

R10 = resistência de 1Ω (castanho, preto, ouro)

P1 = potenciômetro logarítmico de $47k\Omega$ com interruptor

P2 = potenciômetro linear de $100k\Omega$

Condensadores

C1, C3 = condensadores cerâmicos de 220pF

C2, C6 = condensadores cerâmicos de 330pF

C4, C14, C19 = condensadores cerâmicos de 3,3nF

C5 = condensador cerâmico de 100pF

C7 = condensador cerâmico de 39pF

C8 = condensador cerâmico de 47pF

C9 = condensador de poliéster de 47nF

C10 = condensador de poliéster de 22nF

C11, C12, C16 = condensadores de poliéster de 10nF

C13 = condensador cerâmico de 68pF

C15 = condensador cerâmico de 180pF

C17, C18, C24 = condensadores de poliéster de 100nF

C20, C23, C27 = condensadores eletrolíticos de 4,7pF, 16V

C21, C22 = condensadores eletrolíticos de 100pF, 16V

C25 = condensador cerâmico de 1nF

C26, C28, C29 = condensadores eletrolíticos de 22pF, 16V

Semicondutores

IC1 = TDA7000

IC2 = 7805

IC3 = TDA2002

T1 = transistor BC547

DV = diodo varicap BB405 ou equivalente



Vários

L1 = bobina para construir, ver texto.

1 Placa de circuito impresso.

Para a possível fonte de alimentação:

1 Transformador 230VAC - 9VAC, 15 VA

1 Ponte retificadora de 25V ou mais, 2A

1 Condensador eletrolítico de 1000pF, 25V

1 Fusível de 100mA semiatrasado (T) com porta-fusível



Bibliografia

Manual de Áudio – ESTEL.

Vassalo, Francisco Ruiz – Radio – Edições CEAC.

Apontamentos de Telecomunicações, Filipe Pereira, 2010.

