

TESTES EM EQUIPAMENTOS DE COMUNICAÇÕES QUE OPERAM NAS
FAIXAS DE HF, VHF E UHF, EM RADIOTELEFONIA, COM
MODULAÇÃO DE FREQUÊNCIA

WILSON GUERREIRO PINHEIRO

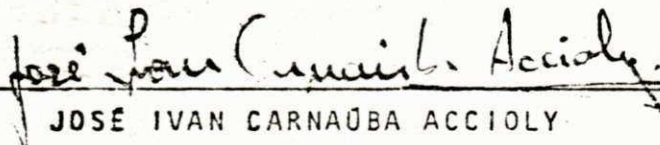
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por:



DENIS JOHN HUNT

- Orientador -



JOSE IVAN CARNAÚBA ACCIOLY



HERMANUS HENRICUS TOMESSEN

CAMPINA GRANDE
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL
DEZEMBRO - 1972



P654t Pinheiro, Wilson Guerreiro.
Testes em equipamentos de comunicações que operam nas faixas de HF, VHF e UHF, em radiotelefonia, com modulação de frequência / Wilson Guerreiro Pinheiro. -- Campina Grande, 1972.
95 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Paraíba, 1972.
"Orientação : Prof. Denis John Hunt".
Referências.

1. Equipamento de Comunicação - Testes - Radiotelefonia. 2. Radiocomunicação. 3. Modulação de Frequência. 4. Sistemas de Transmissão. 5. Dissertação - Ciências. I. Hunt, Denis John. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 621.396(043)

A

Suzete

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar sinceros agradecimen
tos:

— ao Professor Kalra Surindra Nath, pela idê
ia inicial do trabalho;

— ao Professor Denis John Hunt, pela orienta
ção e revisão final do texto;

— aos Professores José Ivan Carnaúba Accioly e
Hermanus Henricus Tomesen, pelas críticas construtivas
na revisão do manuscrito;

— ao Professor Paavo Allan Vuorinen, por ter
gentilmente enviado de Waterloo todo o material bibli
ográfico relativo a normas técnicas canadenses;

— à CAPES (Coordenação do Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior), por ter oferecido bolsa de
estudo durante o período dos cursos e de realização des
te trabalho.

ABSTRACT

This thesis deals with test conditions, instruments, and methods for measuring electrical characteristics of FM receivers and transmitters that operate between 25 MHz and 1 GHz, taking into account the minimum specifications for each test established by the regulating bodies for receiving and transmitting equipment in various countries.

In the measuring methods presented the equipment under test is considered as a two-port and its general characteristics are analyzed, without studying its internal construction.

R E S U M O

Este trabalho trata das condições de teste, ins
trumentos e métodos de medição de características elé
tricas de receptores e transmissores FM que operam en
tre 25 MHz e 1 GHz, sendo também abordadas as especifi
cações mínimas de cada teste estabelecidas por institui
ções que regulamentam ou recomendam normas de teste de
recepção e transmissão em diversos países.

Nos métodos de medição apresentados, os equipamentos
sob teste são considerados como quadripolos, sendo
analisadas suas características gerais, sem, contudo,
estudar as partes, componentes e circuitos, que os constituem.

CONTEÚDO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
1 - CONDIÇÕES NORMAIS DE TESTE	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Presentes Condições Normais	1
1.2.1 - Tensão de Alimentação	1
1.2.2 - Condições Atmosféricas	2
1.2.3 - Modulação	2
1.2.4 - Carga de Saída	4
1.2.5 - Potência de Saída	5
1.2.6 - Silenciador (ou Abafador)	5
2 - CARACTERÍSTICAS DOS INSTRUMENTOS DE TESTE	6
2.1 - Gerador de RF	6
2.2 - Gerador de Áudio	6
2.3 - Medidor de Ruído e Distorção	7
2.4 - Medidor de Desvio de Frequência	7
2.5 - Freqüencímetro Digital	8
2.6 - Wattímetros de RF e de Áudio	8
2.7 - Gerador de Impulso	8
2.8 - Receptor Padrão	9
2.9 - Câmara Climática	9

3 - CIRCUITOS DE ACOPLAMENTO	10
3.1 - Acoplamento para um Gerador e o Receptor	10
3.1.1 - $R_a > R_i$	10
3.1.2 - $R_a < R_i$	12
3.1.3 - Circuitos T e π	12
3.2 - Acoplamento para Diversos Geradores e o Receptor	14
4 - TESTES DE RECEPTOR	17
4.1 - Considerações Gerais	17
4.2 - Testes	17
4.2.1 - Sensibilidade	17
4.2.2 - Sensibilidade Limiar do Silenciador	24
4.2.3 - Faixa de Aceitação de Modulação .	26
4.2.4 - Resposta de Áudio-Freqüência	27
4.2.5 - Seletividade	31
4.2.6 - Atenuação de Sinais Espúrios	37
4.2.7 - Atenuação de Intermodulação	39
4.2.8 - Potência de Saída de Áudio	48
4.2.9 - Nível de Zumbido e Ruído	49
4.2.10 - Rejeição de Ruído Impulsivo	51
5 - TESTES DE TRANSMISSOR	53
5.1 - Considerações Gerais	53
5.2 - Testes	53

LISTA DE FIGURASFigura

1	Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a > R_i$	10
2	Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a > R_i$	11
3	Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a > R_i$	11
4	Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a < R_i$	12
5	Circuito T	12
6	Circuito π	13
7	Circuito de acoplamento para n geradores e o receptor	14
8	Circuito de acoplamento entre dois gerado- res ($R_i = 50$ ohms) e o receptor	15
9	Circuito de acoplamento entre três gerado- res ($R_i = 50$ ohms) e o receptor	15
10	Sensibilidade pelo método de silenciame <u>n</u> to	18
11	Medição da sensibilidade utilizável. Monta <u>g</u> em empregando medidor de distorção	20
12	Medição da sensibilidade utilizável. Monta <u>g</u> em usando filtro rejeita-faixa	21
13	Sensibilidade limiar do silenciador	24

BIBLIOTECA

CENTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA

Figura

14	Medição da resposta de áudio-freqüência do receptor	27
15	Especificações mínimas da resposta de áudio-freqüência para receptores usados com alto-falantes	29
16	Especificações mínimas da resposta de áudio-freqüência para receptores usados com linha de áudio	30
17	Seletividade do receptor	31
18	Curva de seletividade típica de um receptor faixa estreita	33
19	Espectro de freqüência de um gerador de RF perfeito	34
20	Espectro de freqüência de um gerador de RF prático	35
21	Caso em que o ruído do gerador não afeta a medição da seletividade	36
22	Caso em que o ruído do gerador afeta a correta avaliação da seletividade.....	36
23	Atenuação de sinais espúrios	38
24	Atenuação de intermodulação	41
25	Atenuação de intermodulação pelo método dos dois geradores	44
26	Uso de acopladores direcionais na medição da atenuação de intermodulação pelo método dos três geradores	45

Figura

27	Uso de acoplador direcional na medição da atenuação de intermodulação pelo método dos dois geradores.....	46
28	Potência de saída de áudio do receptor ..	48
29	Nível de zumbido e ruído do receptor	50
30	Rejeição de ruído impulsivo	51
31	Limitação de modulação	55
32	Medição da resposta de áudio-freqüência	57
33	Especificações mínimas da resposta de áudio-freqüência de um transmissor	59
34	Distorção harmônica de áudio-freqüência..	60
35	Nível de zumbido e ruído de FM da portadora	62
36	Atenuação de sinais espúrios	63
37	Estabilidade em freqüência	65
38	Relação entre a amplitude da portadora modulada em freqüência e as amplitudes das faixas laterais	77
39	Variação da amplitude da portadora com o índice de modulação	78
40	Calibração do indicador de desvio de um gerador de sinais FM, usando analisador de espectro	80
41	Calibração de um voltímetro em termos de desvio	85

Figura

42	Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a < R_i$	86
43	Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a > R_i$	87

x

LISTA DE TABELAS

Tabela

1	Desvio de teste para receptores VHF e UHF com máximo desvio nominal de 5 KHz	3
2	Mínima sensibilidade (utilizável ou de silenciamento)	23
3	Mínima sensibilidade limiar do silenciador	25
4	Produtos de intermodulação mais significativos	40
5	Mínima atenuação de intermodulação	47
6	Especificações mínimas de estabilidade em frequência	60
7	Especificações mínimas sugeridas para receptor	71
8	Especificações mínimas sugeridas para transmissor	72
9	Nulos da portadora e correspondentes índices de modulação	79
10	Frequências de modulação correspondentes aos desvios em que a amplitude da portadora se anula	83

LISTA DE SÍMBOLOS

a	.....	relação V_i/V_o
A_p	.....	amplitude da portadora
b	.....	relação R_i/R_a
CH	.....	chave
CS	.....	controle de silenciador
CV	.....	controle de volume
dB- μ V	.....	decibel acima de 1μ V
e(t)	.....	valor instantâneo da portadora
F	.....	filtro rejeita-faixa
FI	.....	freqüência intermediária
f_m	.....	máxima freqüência do sinal modulador
FM	.....	freqüência modulada
GHz	.....	gigahertz (10^9 Hz)
Hz	.....	hertz
$J_n(m)$	.....	função de Bessel de primeira espécie, grau n e argumento m
$J_n(\Delta\phi)$	.....	função de Bessel de primeira espécie, grau n e argumento $\Delta\phi$
KHz	.....	quilohertz (10^3 Hz)
m	.....	índice de modulação
MHz	.....	megahertz (10^6 Hz)
P	.....	potência da portadora
p.p.s.	.....	pulsos por segundo
R_a	.....	impedância nominal de antena do receptor

RF	.....	radiofrequência
R_i	.....	impedância interna nominal do gerador de RF
R_p	.....	resistência-paralelo do circuito de acoplamento gerador/receptor
R_s	.....	resistência-série do circuito de acoplamento gerador/receptor
R_1, R_2, R_3		resistências do circuito T
R_4, R_5, R_6		resistências do circuito π
S_A	.....	nível do sinal de RF desejado
S_B	.....	nível do sinal de interferência
SINAD	...	relação $\frac{\text{sinal} + \text{ruído} + \text{distorção}}{\text{ruído} + \text{distorção}}$
V_i	.....	tensão em aberto do gerador de RF
V_o	.....	tensão em aberto nos terminais do circuito de acoplamento gerador/receptor
Δf	.....	desvio de frequência
ΔF	.....	largura do canal de RF
Δf_m	.....	máximo desvio de frequência
$\Delta \phi$	.....	desvio de fase da portadora
θ ou ϕ		ângulo de fase da portadora
μV	.....	microvolt (10^{-6} V)
ω_m	.....	frequência angular de modulação
ω_p	.....	frequência angular da portadora

1 - CONDIÇÕES NORMAIS DE TESTE

1.1 - INTRODUÇÃO

Condições normais de teste são as condições que devem ser aplicadas ao transmissor e ao receptor durante os ensaios de verificação de suas características elétricas. Essas condições, que, entre outras, incluem tensão de alimentação, temperatura e modulação, foram estabelecidas por diversas instituições que regulam ou recomendam normas de teste de recepção e transmissão em diversos países, dentre as quais se distinguem a Electronic Industries Association (EIA) e o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) nos Estados Unidos, o Ministry of Posts and Telecommunications (MPT) na Inglaterra, o Canadian Department of Communications (CDC) no Canadá e a International Electrotechnical Commission (IEC) na Suíça. As normas da IEC são reconhecidas pela Austrália, Japão, Israel, Turquia, Rússia e diversos países da Europa.

1.2 - PRESENTES CONDIÇÕES NORMAIS

Baseando-se nas normas EIA, IEEE, MPT, CDC e IEC, serão consideradas como condições normais de teste neste trabalho as seguintes condições:

1.2.1 - Tensão de Alimentação

A tensão de alimentação aplicada à entrada do equipamento deve estar dentro de $\pm 2\%$ do valor declarado pelo fabricante.

Caso o equipamento possua fonte de alimentação própria, a tensão de teste terá o valor da bateria in

terna, devendo estar dentro de $\pm 5\%$ do valor fornecido pelo fabricante.

1.2.2 - Condições Atmosféricas

Temperatura: 15°C a 30°C

Máxima Umidade Relativa: 90%

Pressão: 700 a 800 mm de mercúrio

1.2.3 - Modulação

60% do máximo desvio de frequência estabelecido pelo fabricante para o sistema, a 1000 Hz.

A distorção harmônica total do tom de 1000 Hz deve ser menor que 1%.

Observações

- a) O desvio de frequência de teste estabelecido por diversas normas estrangeiras apresenta pequenas diferenças, como pode ser notado na Tabela 1.
- b) O Conselho Nacional de Telecomunicações (CONTEL) ainda não dispõe de normas técnicas para receptores. A NTC-17, que especifica as características técnicas para transmissores FM nas faixas de 25-50/148-174/450-470 MHz, adota como modulação normal de teste $2/3$ do máximo desvio nominal a 1000 Hz. Por uma questão de coerência, dever-se-ia adotar, numa futura norma brasileira para testes de receptores, a especificação $2/3$ do máximo desvio nominal. Entretanto, a própria NTC-17 menciona o valor 3,5 KHz (sic) como

Tabela 1 — Desvio de teste para receptores VHF e UHF com máximo desvio nominal de 5KHz

NORMA	ANO	ESPECIFICAÇÃO RELATIVA AO MÁXIMO DES- VIO NOMINAL	DESVIO DE TESTE
RS-204 (EIA)	1958	2/3	3,3 KHz
RS-204 (EIA)	1969	60%	3,0 KHz
SP-184 (IEEE)	1969	60%	3,0 KHz
MPT-101 (MPT)	1969	60(±3)%	3 KHz
MPT-102 (MPT)	1969	60(±3)%	3 KHz
RSS-121 (CDC)	1970	70%	3,5 KHz
315-1 (IEC)	1970	30%	1,5 KHz
RSS-121 (CDC)	1971	60%	3,0 KHz

4

correspondente ao desvio de teste para transmissores com máximo desvio autorizado de 5 KHz. Ressalte-se que uma diferença de 0,2 KHz no desvio de teste (isto é, quando se usa um desvio de 3,5 KHz em vez de 3,3 KHz) ou ainda uma diferença de 0,5 KHz (isto é, quando se usa 3,5 KHz de desvio em vez de 3,0 KHz) praticamente não afetam as medições realizadas num transmissor. Todavia, uma diferença dessa ordem nos desvios de teste de diversos receptores acarretaria diferenças em algumas características medidas (por exemplo, sensibilidade utilizável e faixa de aceitação de modulação), tornando problemática, portanto, uma comparação entre os receptores.

Como tentativa para uma uniformização das normas internacionais — tendência que pode ser verificada na Tabela 1 no que concerne a desvio de teste —, o autor sugeriria, como norma brasileira, a adoção de 60% do máximo desvio nominal como desvio de teste tanto de transmissores, quanto de receptores.

1.2.4 - Carga de Saída

a) Transmissor

Consiste de uma carga resistiva não radiante, de valor ajustado conforme as instruções do fabricante.

b) Receptor

Consiste de uma carga resistiva de valor igual à impedância de saída nominal do receptor.

1.2.5 - Potência de Saída

a) Transmissor

Potência da portadora (especificada pelo fabricante) normalmente disponível na carga de saída nominal do transmissor, sem modulação.

b) Receptor

50% da máxima potência de áudio nominal (declarada pelo fabricante), medida sobre a carga de saída de teste.

1.2.6 - Silenciador (ou Abafador)

Salvo indicação em contrário, o silenciador do receptor deve estar aberto, ou seja, o controle de silenciador deve estar na posição de mínimo silenciamento.

Observação

Nos diagramas de blocos do receptor apresentados no texto, o controle de silenciador (CS) não será representado quando, durante a realização dos testes, estiver na posição de mínimo.

2 - CARACTERÍSTICAS DOS INSTRUMENTOS DE TESTE

2.1 - GERADOR DE RF

Deve ser um gerador de sinais de frequência mo
dulada com as seguintes características:

a) impedância interna nominal igual a 50 ohms re
sistivos;

b) atenuador de saída variável continuamente;

c) capaz de fornecer níveis de saída precisos da
ordem de 0,1 μ V;

d) capaz de ser modulado por frequências de áudio
na faixa de 300 a 3000 Hz, em níveis que dêem desvios
entre zero e o dobro do máximo desvio nominal do siste
ma sob teste;

e) adequadamente filtrado e blindado, de modo a li
mitar as fugas, por condução e irradiação, a um nível
de 6 dB abaixo do menor nível de sinal de teste;

f) estabilidade de frequência: $\pm 5\%$ do máximo des
vio nominal do sistema em teste;

g) FM espúria menor que 10 Hz.

2.2 - GERADOR DE ÁUDIO

Deve ser um gerador que cubra, pelo menos, a
faixa de 300 a 3000 Hz, com distorção harmônica total
menor que 1%.

2.3 - MEDIDOR DE RUÍDO E DISTORÇÃO

Deve ser do tipo que mede o conteúdo total de ruído e distorção de sinais de áudio-freqüência, usando o método convencional que consiste em eliminar a componente fundamental e comparar a amplitude do resíduo com a amplitude do sinal completo.

O fator de rejeição da componente fundamental de 1000 Hz, utilizada nos testes, deve ser de, pelo menos, 80 dB.

Deve ainda, de preferência, possuir:

a) um filtro passa-baixas que restrinja as medições de ruído e distorção até 20 KHz, eliminando, assim, componentes que estejam fora da faixa de áudio-freqüência;

b) um filtro passa-altas que elimine freqüências inferiores a 400 Hz, reduzindo, desse modo, as componentes de zumbido, que poderão afetar o correto resultado das medições.

Independentemente dos filtros, o medidor de ruído e distorção deve ainda funcionar como voltímetro, para poder ser usado em testes de receptor nas medidas de potência de saída, resposta de áudio-freqüência e sensibilidade pelo método de silenciamento.

2.4 - MEDIDOR DE DESVIO DE FREQUÊNCIA

Deve, pelo menos, medir desvios entre 20 Hz e 150% do máximo desvio nominal do sistema em teste, dentro da faixa de 25 MHz a 1 GHz, com precisão de fundo de escala de $\pm 3\%$.

O ruído de FM gerado internamente deve ser menor que -50 dB relativamente ao desvio de 5 KHz.

Observação

Mesmo quando o instrumento não medir diretamente, com precisão, desvios da ordem de dezenas de hertz (por exemplo, medidor cujo menor fundo de escala for 5 KHz), ele será aceitável se apresentar terminais de saída que dêem diretamente o sinal demodulado amplificado (V. Apêndice C).

2.5 - FREQÜENCÍMETRO DIGITAL

Deve ter precisão não inferior a 0,0001%.

2.6 - WATTÍMETROS DE RF E DE ÁUDIO

Devem ter precisão de fundo de escala de, no mínimo, $\pm 5\%$.

2.7 - GERADOR DE IMPULSO

Usado para simular certos tipos de ruídos impulsivos artificiais, o gerador de impulso deve ter as seguintes características:

a) saída plana dentro de ± 1 dB entre 25 MHz e 1 GHz;

b) tensão de pico, em qualquer faixa escolhida, não inferior a 70 dB- μ V/MHz;

c) precisão do nível de saída: ± 1 dB;

d) freqüência de saída tendo, pelo menos, o valor 60 p.p.s., com precisão de 1%.

2.8 - RECEPTOR PADRÃO

Deve possuir as seguintes propriedades:

- a) impedância nominal de entrada igual a 50 ohms;
- b) característica de deênfase de 6(±1) dB por oitava, relativamente ao nível de modulação a 1000 Hz, entre 300 e 3000 Hz, sendo constante o desvio do sinal de RF de entrada;
- c) nível de zumbido e ruído (expresso em dB pela relação entre a saída do receptor devida ao sinal de entrada normal de teste e a saída correspondente a um sinal de RF de entrada, não modulado, de 60 dB-µV), pelo menos, 10 dB maior que o mínimo nível de zumbido e ruído a ser medido;
- d) distorção harmônica de saída não superior a 1/3 da máxima distorção harmônica a ser medida, quando sintonizado num sinal de RF modulado com desvio 1,5 vezes maior que o máximo desvio nominal do sistema em prova.

2.9 - CÂMARA CLIMÁTICA

Deve, no mínimo, possuir controle de temperatura no intervalo de 0°C a 50°C, com precisão não inferior a ±1°C.

3 - CIRCUITOS DE ACOPLAMENTO

Em todo o desenvolvimento do trabalho, conside
rar-se-á como 50 ohms a impedância nominal de antena do
receptor em teste. Se não for este o caso, tornar-se-á
necessário o uso de circuitos de acoplamento entre o ge
rador e o receptor ou, no caso de medição de seletivida
de e intermodulação, entre dois ou três geradores e o
receptor, com a finalidade de converter as impedâncias.

3.1 - ACOPLAMENTO PARA UM GERADOR E O RECEPTOR

Se R_a a impedância nominal da antena normal
mente usada no receptor e R_i a impedância interna nomi
nal do gerador, poderão ocorrer os seguintes casos:

3.1.1 - $R_a > R_i$

Poderão ser utilizadas as montagens:

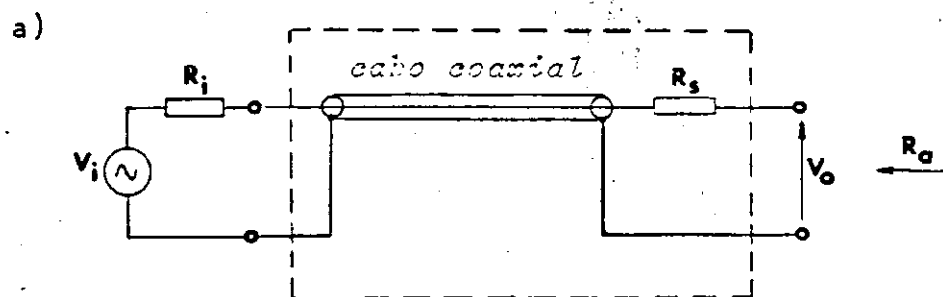


Fig. 1 - Circuito de acoplamento
gerador/receptor; $R_a > R_i$

$$\begin{aligned} R_s &= R_a - R_i \\ Z_o &= R_i \quad (*) \\ V_o &= V_i \end{aligned}$$

(*) Z_o é a impedância característica do cabo coaxial

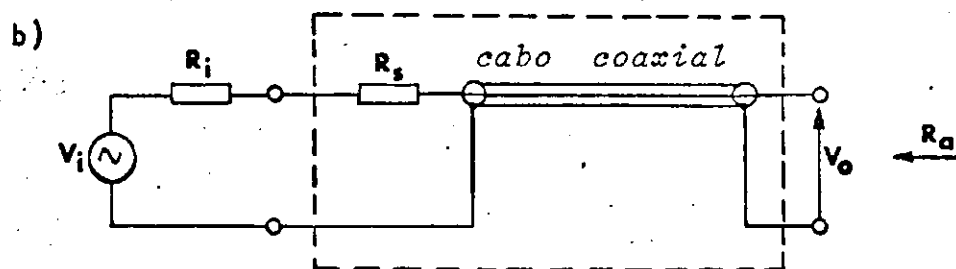


Fig. 2 - Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a > R_i$

$$R_s = R_a - R_i$$

$$Z_o = R_a$$

$$V_o = V_i$$

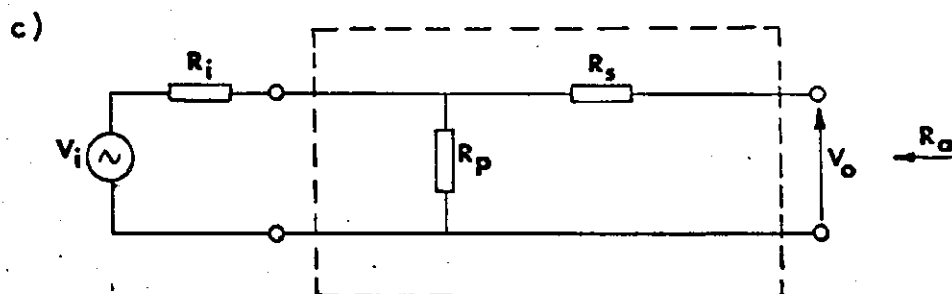


Fig. 3 - Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a > R_i$

$$R_s = R_a \sqrt{1 - (R_i/R_a)}$$

$$R_p = R_i / \sqrt{1 - (R_i/R_a)}$$

$$V_o = [R_p / (R_i + R_p)] V_i$$

(V. Apêndice D)

3.1.2 - $R_a < R_i$

(V. Apêndice D)

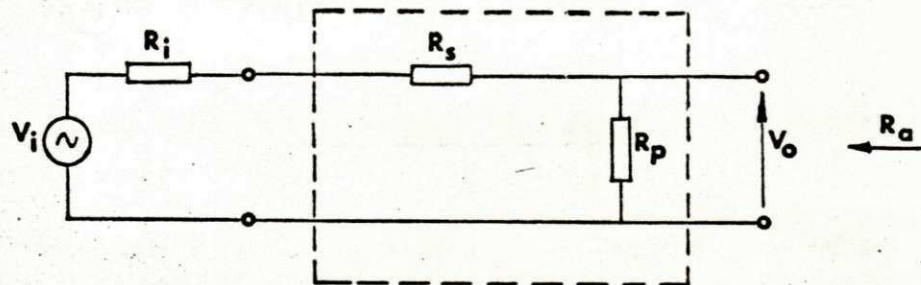


Fig. 4 - Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a < R_i$

$$R_s = R_i \sqrt{1 - (R_a/R_i)}$$

$$R_p = R_a / \sqrt{1 - (R_a/R_i)}$$

$$V_o = [R_p / (R_i + R_s + R_p)] V_i$$

3.1.3 - Circuitos T e π

Os circuitos mais usuais para conversão de im pedância, tanto para $R_a > R_i$ como para $R_a < R_i$, são os circuitos T e π , ilustrados nas figuras 5 e 6.

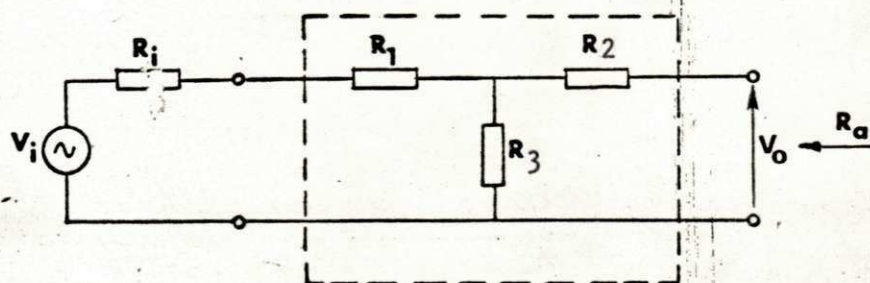
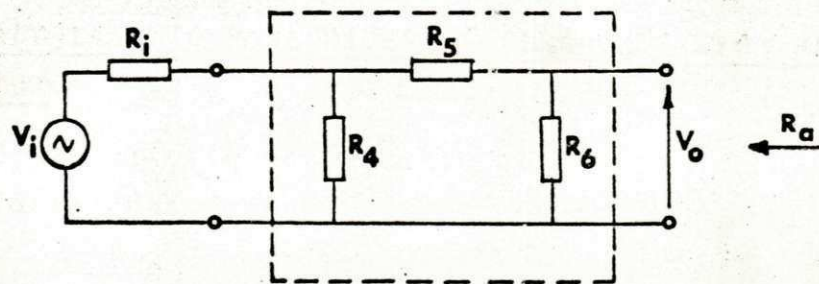


Fig. 5 - Circuito T

Fig. 6 - Circuito π

Sendo $V_i/V_o = a$ e $R_i/R_a = b$, os elementos dos circuitos T e π serão dados pelas expressões:

$$R_1 = \frac{a^2 + b}{a^2 - b} R_i - R_3$$

$$R_2 = \frac{a^2 + b}{a^2 - b} R_a - R_3$$

$$R_3 = \frac{2a}{a^2 - b} R_i$$

$$R_4 = \frac{(a^2 - b)R_i R_5}{(a^2 + b)R_5 - (a^2 - b)R_i}$$

$$R_5 = \frac{a^2 - b}{2a} R_a$$

$$R_6 = \frac{(a^2 - b)R_a R_5}{(a^2 + b)R_5 - (a^2 - b)R_a}$$

3.2 - ACOPLAMENTO PARA DIVERSOS GERADORES E O RECEPTOR

O circuito de acoplamento para n geradores com impedância interna nominal R_i será do tipo:

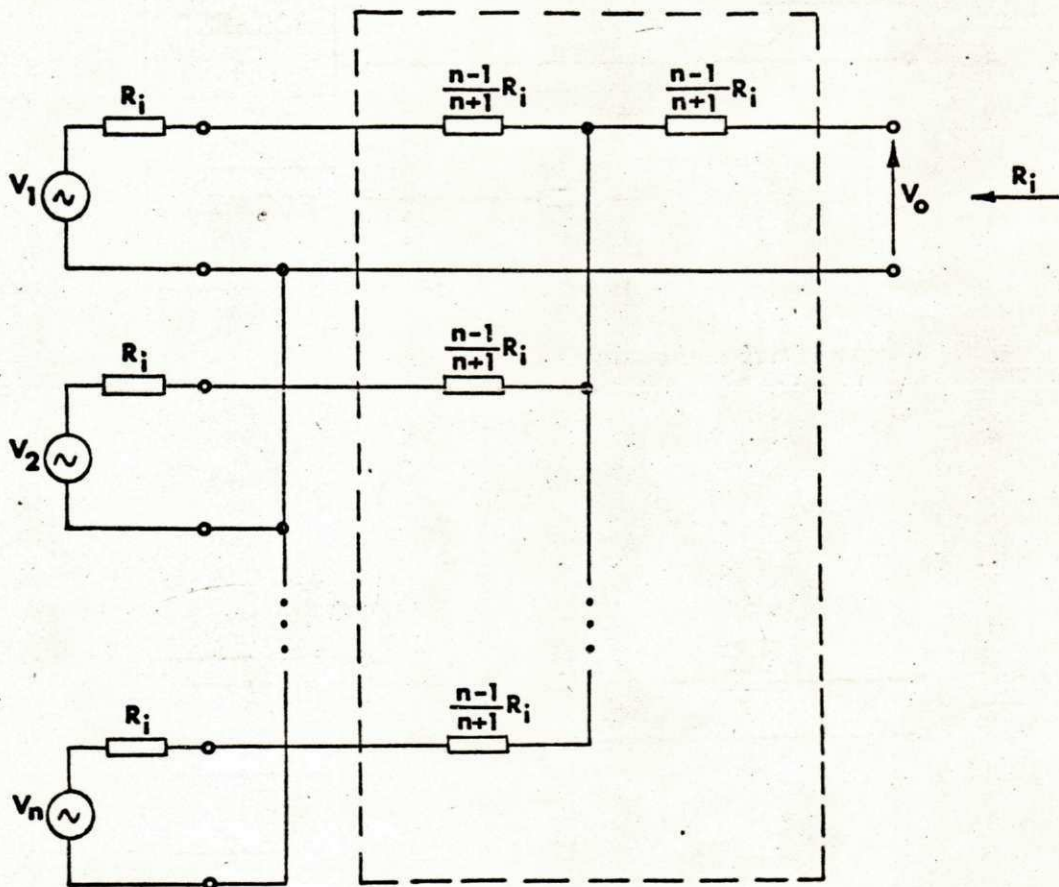


Fig. 7 - Circuito de acoplamento para n geradores e o receptor

$$V_o = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

No caso particular de acoplamento de dois ou três geradores com impedância interna nominal de 50 ohms, resultam os circuitos:

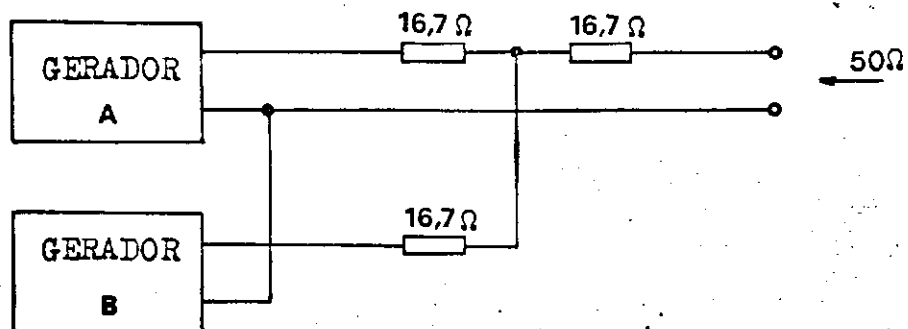


Fig. 8 - Circuito de acoplamento entre dois geradores ($R_i=50$ ohms) e o receptor

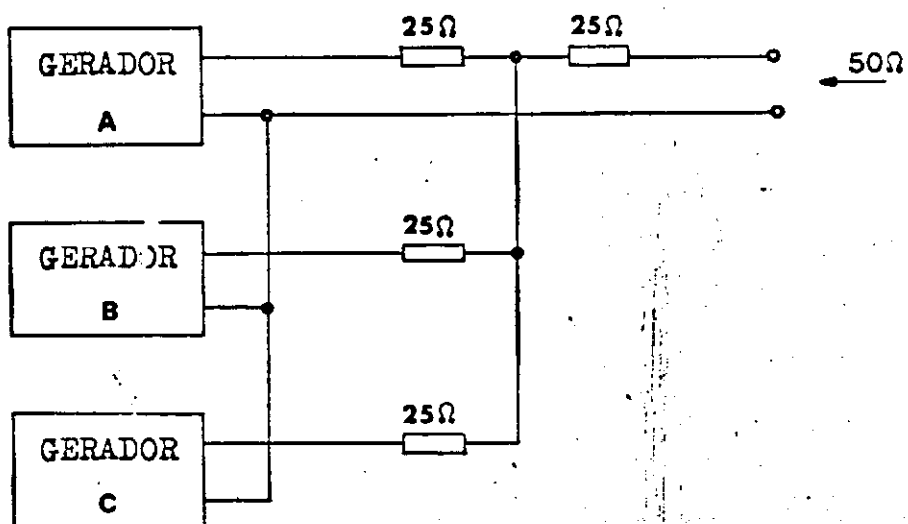


Fig. 9 - Circuito de acoplamento entre três geradores ($R_i=50$ ohms) e o receptor

Observação

Para isolar os produtos de intermodulação de diversos geradores, às vezes se torna necessário usar acopladores direcionais como elementos de acoplamento nos testes de intermodulação, seletividade e rejeição de ruído impulsivo.

4 - TESTES DE RECEPTOR

4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os testes aqui descritos sã se aplicam a receptores FM operando em radiotelefonia, nã multiplex, nã podendo ser usados em receptores que possuam sub-sistemas especiais como, por exemplo, silenciador atuado por tom codificado ou supressor de ruído impulsivo.

Os testes podem ser executados em qualquer ordem, sem nenhum problema de prioridade. Entretanto, hã alguns testes que sã um prolongamento de outros, razão por que é aconselhãvel que sejam feitos em seqüência, quando se quiser racionalizar a realizaçã dos testes, com uma conseqüente economia de tempo. Exemplos disso são:

- Sensibilidade de silenciamento e atenuaçã de sinais espúrios;
- Sensibilidade utilizãvel e faixa de aceitaçã de modulaçã;
- Sensibilidade limiar do silenciador e rejeiçã de ruído impulsivo.

4.2 - TESTES

4.2.1 - Sensibilidade

Sensibilidade de um receptor é a sua capacidade de receber sinais fracos, discernindo-os do ruído sempre presente. Para a determinaçã da sensibilidade, torna-se, portanto, fundamental o uso de um bom gerador de

sinais. Os aperfeiçoamentos conseguidos nas características de receptores modernos (sensibilidade melhor do que $0,1 \mu\text{V}$) tornam muito exigentes as especificações dos geradores de sinais usados neste teste (V. item 2.1).

Hã dois testes de sensibilidade normalmente reconhecidos. O mais antigo é o "método de silenciamento", que consiste na medição do nível do sinal não modulado de entrada necessário para reduzir ("silenciar") de 20 dB a intensidade do ruído do receptor.

Para a realização do teste, conecta-se um gerador de RF à entrada de antena do receptor, ligando-se à saída de áudio a carga normal de teste ou wattímetro de áudio (V. figura 10).

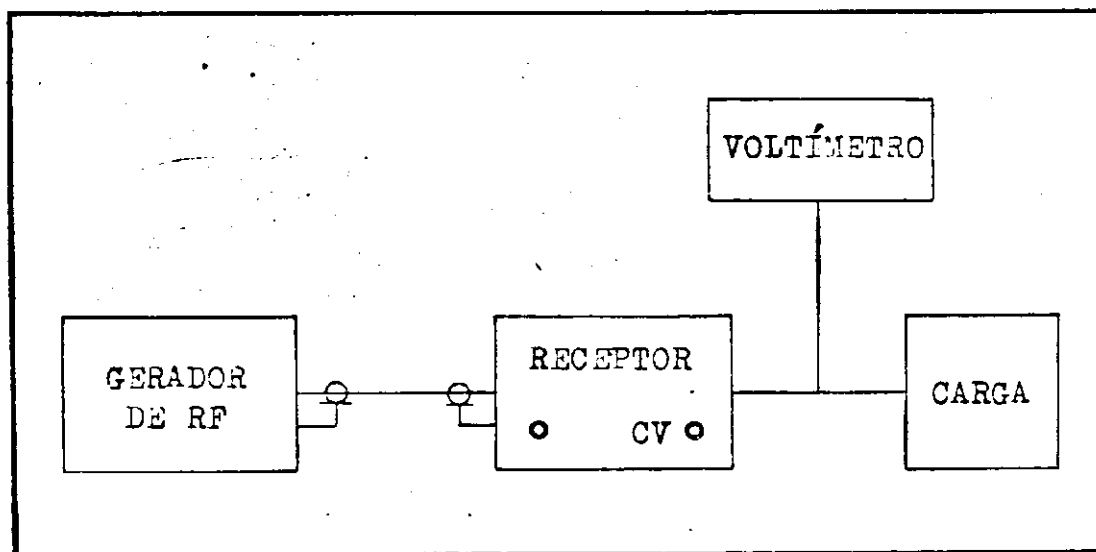


Fig. 10 - Sensibilidade pelo método de silenciamento

Inicialmente, com a saída do gerador de RF to talmente atenuada e fora da frequência de recepção, ajusta-se, com o controle de volume (CV), o nível de ruído do receptor para 25% da potência nominal de saída de áudio. Com um sinal de saída de 60 dB- μ V, o gerador é sintonizado na frequência de recepção, ajustando-se, em seguida, o atenuador para o mínimo sinal que dê 20 dB de silenciamento (a atenuação de 20 dB é facilmente de tetada no voltímetro).

Este método se aplica apenas aos receptores que utilizam um ou mais limitadores e um discriminador. Uma outra limitação deste método é a sua incapacidade em distinguir diferentes faixas de FI e respostas de áu dio, razão por que não deve ser usado para comparar re ceptores de diferentes projetos.

Por essas restrições, nas especificações de um receptor não deve constar apenas este método de medida de sensibilidade.

O segundo método, mais largamente aceito, é o chamado de "sensibilidade utilizável". Mede o nível do sinal modulado de entrada necessário para produzir a po tência normal de teste (V. item 1.2.5), com uma relação

$$\frac{\text{Sinal} + \text{Ruído} + \text{Distorção}}{\text{Ruído} + \text{Distorção}} \quad (*)$$

de 12 dB.

O teste é feito conectando-se aos terminais de antena do receptor o gerador de RF, sintonizado na fre

(*) Abreviadamente, "relação SINAD" (do inglês: Signal, Noise And Distortion).

quência de recepção e com nível de saída de 60 dB- μ V, nas condições normais de modulação. A saída do receptor deve ser ligada à carga normal ou ao wattímetro de áudio, em condições de se medir o nível de saída de áudio e eliminar a frequência de modulação (V. figura 11).

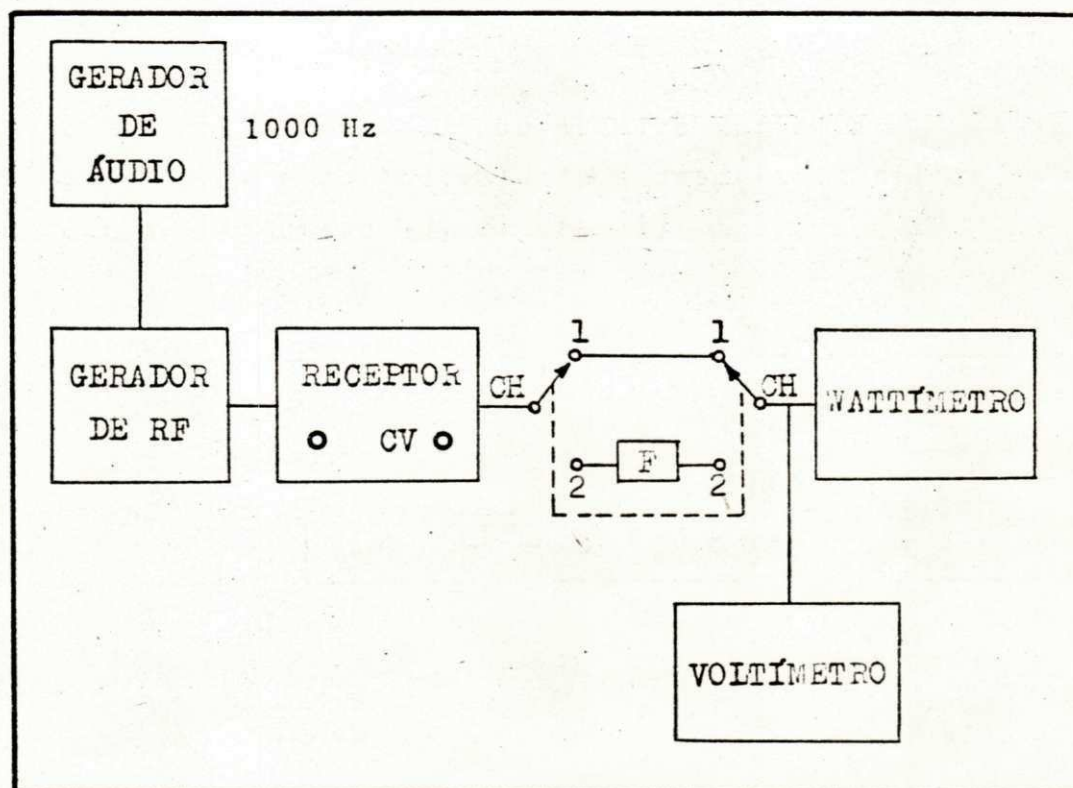


Fig. 11 - Medição da sensibilidade utilizável. Montagem usando um filtro rejeita-faixa (F) sintonizado em 1000 Hz. A atenuação de F nessa frequência deve ser maior que 80 dB e a faixa de rejeição deve ser estreita comparada com a faixa de áudio do receptor

Com a chave CH na posição 1, ajusta-se o controle de volume para se ter potência de saída nominal. Com CH na posição 2, reduz-se a saída do gerador até se ter 12 dB SINAD. Nestas condições, deve-se ter, pelo menos, 50% da potência nominal. Se a relação de 12 dB SINAD for conseguida com uma potência de saída menor do que 50% da nominal, deve-se aumentar o sinal do gerador até serem obtidos os 50% exigidos, sendo usado esse novo nível de entrada como especificação da sensibilidade utilizável do receptor, apesar de a relação SINAD ser maior que 12 dB.

Outra montagem que permite medir a relação SINAD, de maneira equivalente à descrita, utiliza um medidor de distorção (V. figura 12).

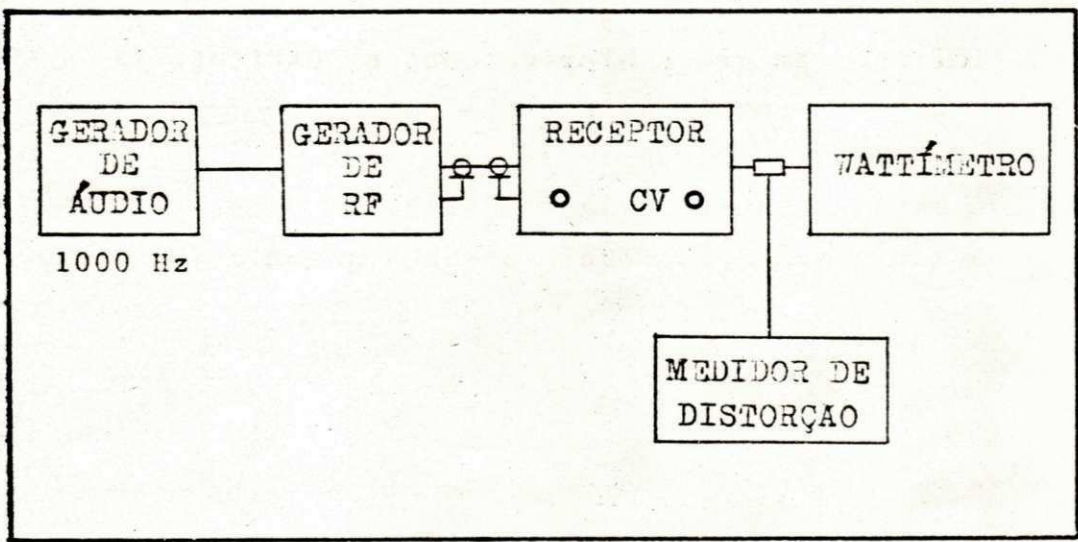


Fig. 12 - Medição da sensibilidade utilizável. Montagem empregando medidor de distorção

Convém observar, a esta altura, que, para a comparação entre dois receptores, deve-se adotar o mesmo desvio de teste. Isto porque, na determinação da sensibilidade do receptor, se necessita de um sinal para produzir os 12 dB SINAD, sinal esse que será maior quando se tiver maior desvio, o que, conseqüentemente, implicará numa sensibilidade utilizável aparentemente melhor.

Especificações Mínimas

Ao se especificar a sensibilidade do receptor, deve-se frisar bem as condições em que se está dando o nível de saída do gerador, ou seja, em termos da tensão em aberto ou em termos da tensão nos terminais de antena do receptor.

O máximo nível permitido do sinal de entrada do receptor necessário para produzir 20 dB de silenciamento ou 12 dB SINAD (o que equivale à mínima sensibilidade permitida) varia ligeiramente conforme a norma adota da, sendo função também da faixa de frequência de operação do receptor. A Tabela 2 mostra alguns valores mínimos estabelecidos por normas inglesas, americanas e canadenses.

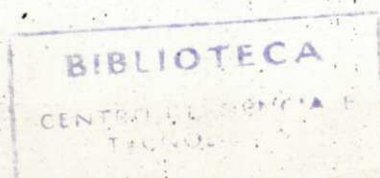


Tabela 2 — Mínima sensibilidade (utilizável ou de silenciamento)

NORMAS	FAIXA DE OPERAÇÃO MHz	MÍNIMA SENSIBILIDADE μ V (EM ABERTO)
RS-204 (EIA) 1958	25-54	1,0
	144-174	1,5
	400-470	2,5
MPT-101 (MPT) 1969	450-470	1,6
RSS-139 (CDC) 1971	27,28-50	1,5
RSS-121 (CDC) 1971	27,23-50	3,0
	138-174	
	410-470	

4.2.2 - Sensibilidade Limiar do Silenciador

A ação adequada de abrir e fechar do silenciador do receptor, quando a este se aplica e se retira um pequeno sinal de entrada, pode ser verificada, determinando-se a chamada "sensibilidade limiar do silenciador". Trata-se do mínimo sinal do gerador de RF que, modulado nas condições normais, faça abrir o silenciador.

O teste é realizado, utilizando-se a montagem da figura 13. Inicialmente, com a saída do gerador de RF toda atenuada e fora da frequência de recepção, ajusta-se, com o controle de volume, o nível de ruído de saída do receptor, de modo a se ter 25% da potência nominal. Ajusta-se, em seguida, o controle de silenciador para se ter uma atenuação do ruído de, pelo menos, 40 dB na saída de áudio, para uma variação da tensão de alimentação do receptor de $\pm 15\%$.

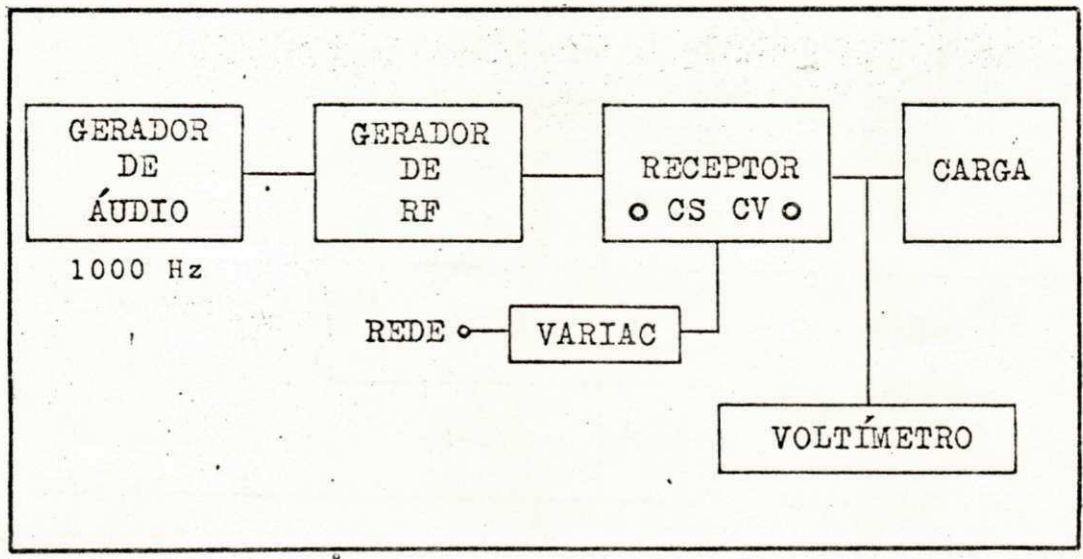


Fig. 13 - Sensibilidade limiar do silenciador

Em seguida, já com o receptor alimentado com a tensão normal de teste, sintoniza-se o gerador, modula do nas condições normais, na frequência de recepção, e se lhe ajusta o atenuador para o mínimo valor que dê a potência nominal de saída do receptor.

Especificações Mínimas

Para as normas EIA, a mínima sensibilidade limiar do silenciador deve ser igual aos valores apresentados na Tabela 3 para diversas faixas de operação.

Tabela 3 — Mínima sensibilidade limiar do silenciador

NORMA	FAIXA DE OPERAÇÃO MHz	MÍNIMA SENSIBILIDADE LIMIAR DO SILENCIADOR μ V (EM ABERTO)
RS-204 (EIA) 1969	25-54	0,50
	144-174	0,75
	450-470	1,25

4.2.3 - Faixa de Aceitação de Modulação

A faixa de aceitação de modulação do receptor é caracterizada pelo máximo desvio que o receptor aceita, para um sinal de entrada 6 dB acima da sensibilidade utilizável medida.

Este teste leva em consideração todo tipo de distorção que ocorre no receptor, como a atenuação da faixa lateral no filtro de FI, a não linearidade do discriminador e distorção harmônica de áudio, estando, dessa maneira, intimamente relacionado com a inteligibilidade do sinal de voz, nas condições de desvio de frequência do transmissor igual ou maior que o máximo desvio nominal do sistema.

A montagem utilizada para a obtenção da faixa de aceitação de modulação é a mesma das figuras 11 e 12. Determina-se o nível do sinal para se ter 12 dB SINAD, seguindo-se exatamente a mesma orientação usada na determinação da sensibilidade utilizável. Em seguida, duplica-se (aumento de 6 dB) o nível do sinal do gerador de RF e aumenta-se o desvio de frequência até que a relação SINAD volte a ser 12 dB.

O desvio aumentado, multiplicado por 2, constitui a faixa de aceitação de modulação.

Especificações Mínimas

A faixa de aceitação de modulação não deve ser menor que o dobro do máximo desvio nominal do receptor.

4.2.4 - Resposta de Áudio-Freqüência

A resposta de áudio-freqüência corresponde à proximidade com que a saída de áudio do receptor acompanha, entre 300 a 3000 Hz; uma característica de deênfase de -6 dB/oitava, relativa ao nível de modulação a 1000 Hz, sendo constante o desvio do sinal de RF da entrada.

Para o teste, utiliza-se a montagem da figura 14.

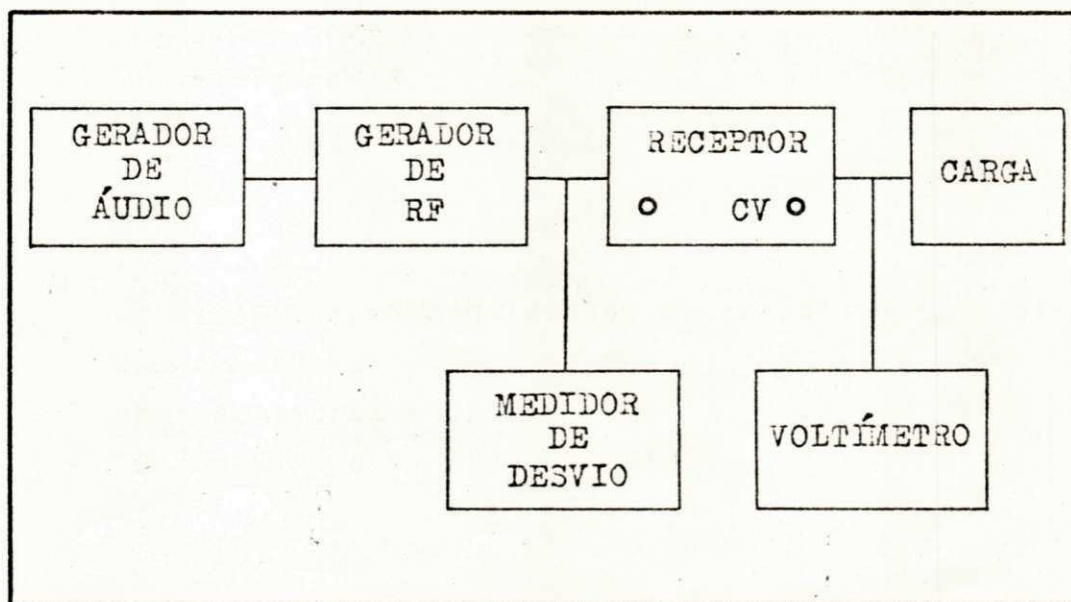


Fig. 14 - Medição da resposta de áudio-freqüência do receptor

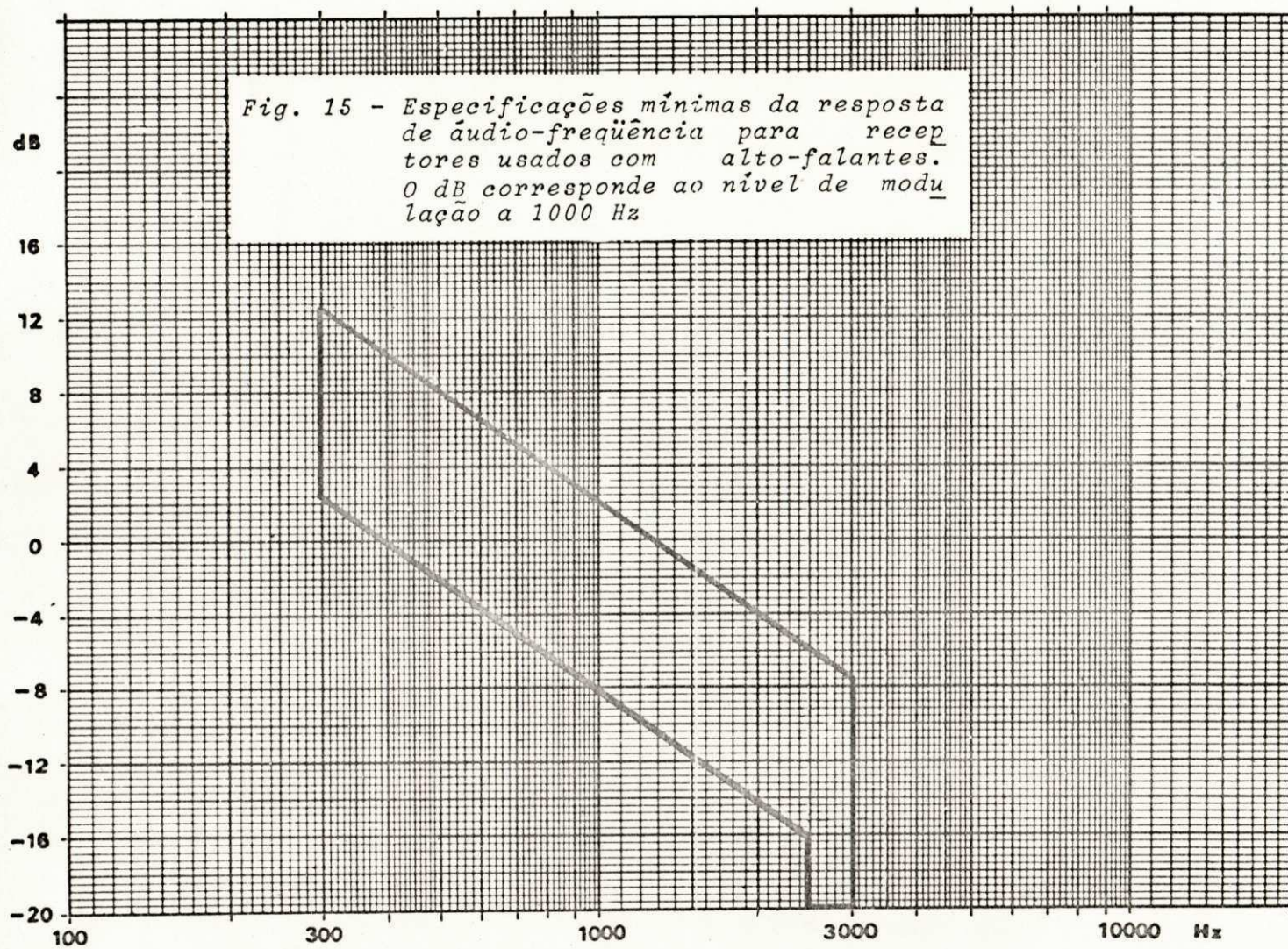
Inicialmente, com o nível de saída do gerador de RF em 60 dB- μ V, modulado nas condições normais, é ajustado o controle de volume do receptor para dar a potência de saída normal. Em seguida, reduz-se o nível do sinal do gerador de áudio para se ter na saída do gerador de RF um desvio de 20% do máximo desvio nominal. Este nível de referência é mantido constante, enquanto se mede a amplitude do sinal de saída do receptor como resposta à variação do gerador de áudio entre 300 e 3000 Hz.

Especificações Mínimas

Para receptores usados com alto-falantes, a resposta de áudio deve ficar dentro da região indicada no gráfico da figura 15.

Para receptores usados com linha de áudio (500-600 ohms), a resposta de áudio deve estar dentro da região do gráfico da figura 16.

As normas estadunidenses e canadenses se dividem quanto à especificação da resposta de áudio-frequência para receptores usados com fone. O CDC indica a figura 15 e a EIA, a figura 16.



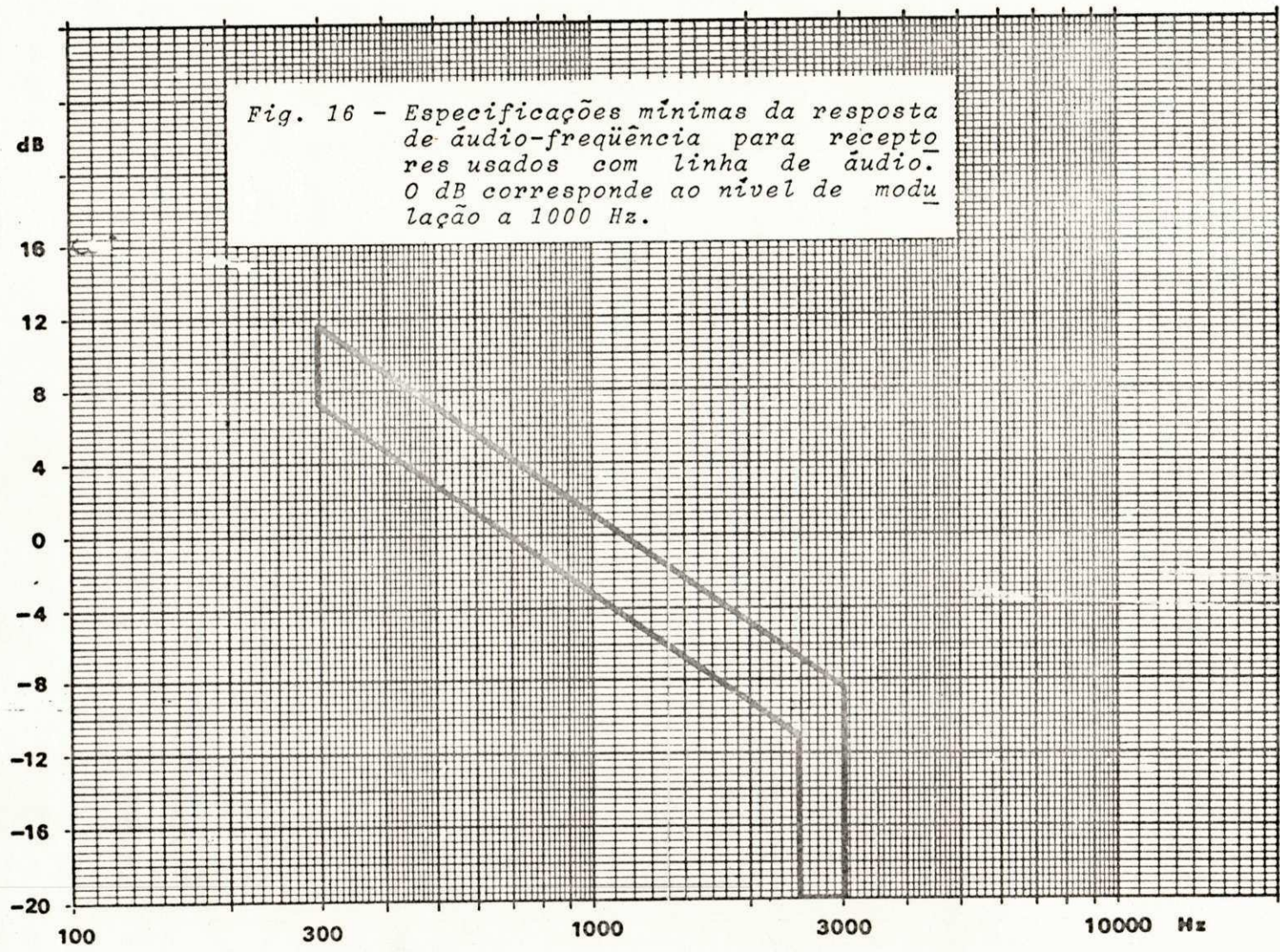


Fig. 16 - Especificações mínimas da resposta de áudio-freqüência para receptores usados com linha de áudio. 0 dB corresponde ao nível de modulação a 1000 Hz.

4.2.5 - Seletividade

A seletividade do receptor mede a sua habilidade de selecionar o sinal útil na presença de um forte sinal de interferência.

O teste consiste em se aplicar dois geradores de sinais ao receptor, através de um circuito de acoplamento adequado (V. figura 17).

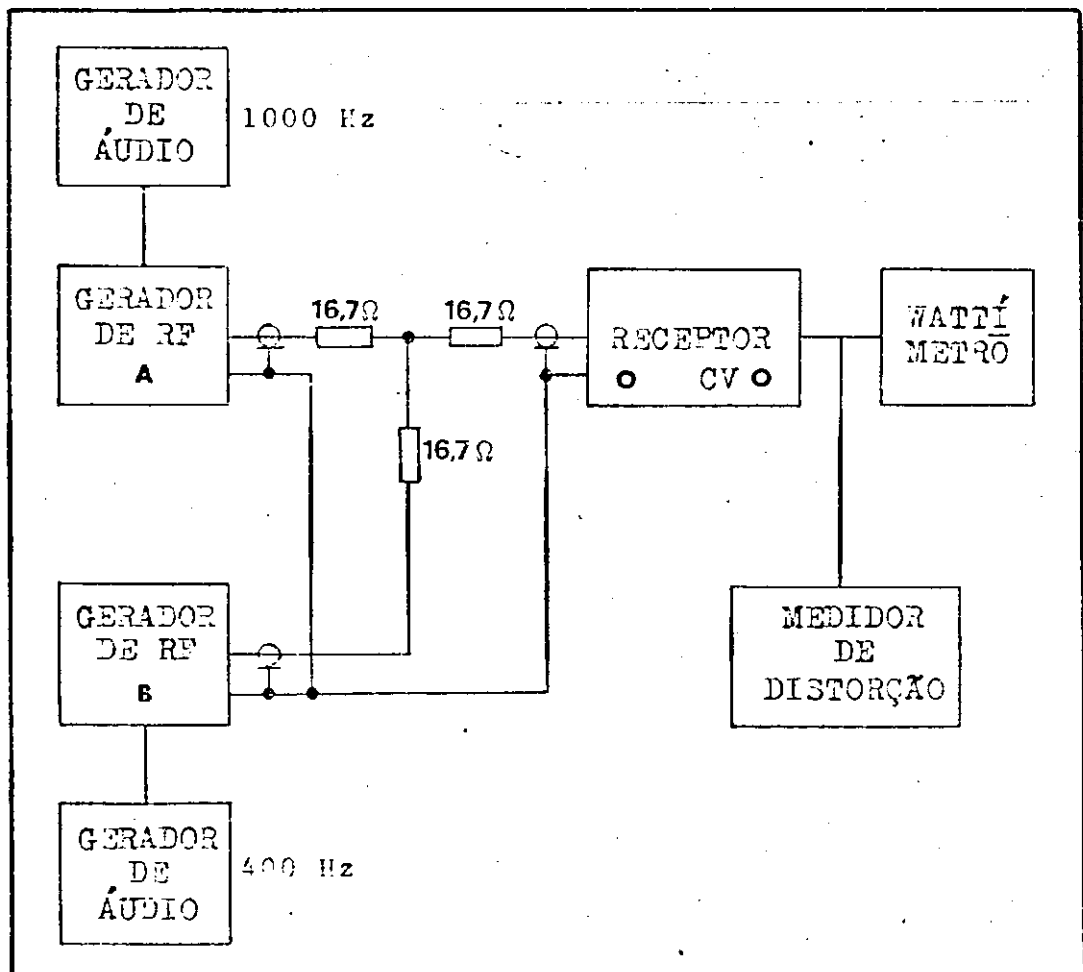


Fig. 17 - Seletividade do receptor

Enquanto a saída do gerador B, não modulado, é mantida em zero, o gerador A, modulado nas condições normais, é sintonizado no centro da faixa de passagem do receptor, sendo ajustado para produzir uma relação SINAD de 12 dB. A seguir, o gerador B, agora modulado por 400 Hz a 60% do máximo desvio nominal do receptor, é sintonizado sucessivamente nos canais adjacentes superior e inferior, sendo aumentada a sua amplitude até que a relação SINAD do gerador A caia para 6 dB.

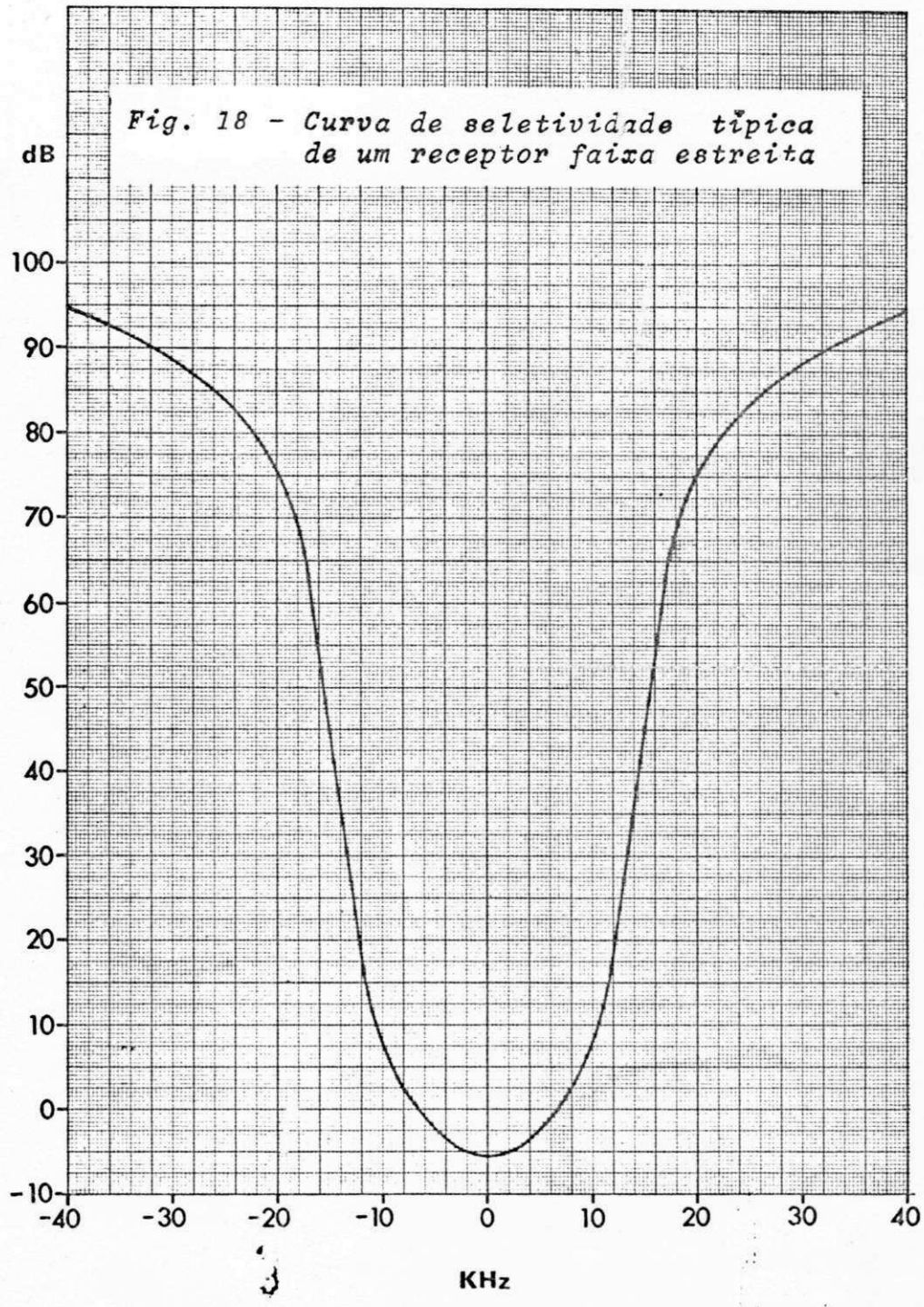
A seletividade do receptor é dada pela relação, em dB, entre a amplitude do sinal do gerador B e a amplitude do sinal do gerador A. Se houver diferença nessa relação entre o canal adjacente superior e o inferior, a menor relação será usada como especificação da seletividade.

Observações

a) Curva de Seletividade

A curva de seletividade do receptor corresponde ao gráfico que dá a relação, expressa em dB, entre o sinal de interferência (gerador B) e o sinal útil (gerador A) em função da separação de frequência entre esses sinais. Para o seu traçado, usam-se montagem e procedimento análogos aos mencionados na medição de seletividade do receptor. A única diferença é que o gerador B não deve ser modulado durante as medições, exceto nas frequências dos canais adjacentes. A figura 13 ilustra a curva de seletividade típica de um receptor faixa estreita.

Fig. 18 - Curva de seletividade típica de um receptor faixa estreita



b) Ruído do Gerador B

Um fator muito importante nos testes de seletividade de receptores, particularmente de faixa estreita de UHF, é a característica de ruído do gerador B. Realmente, o espectro de frequência de qualquer gerador prático apresenta não só o sinal desejado, como também faixas laterais resultantes da modulação da frequência desejada pelo ruído interno do gerador (V. figuras 19 e 20), fato que poderá afetar o correto resultado da medição de seletividade.

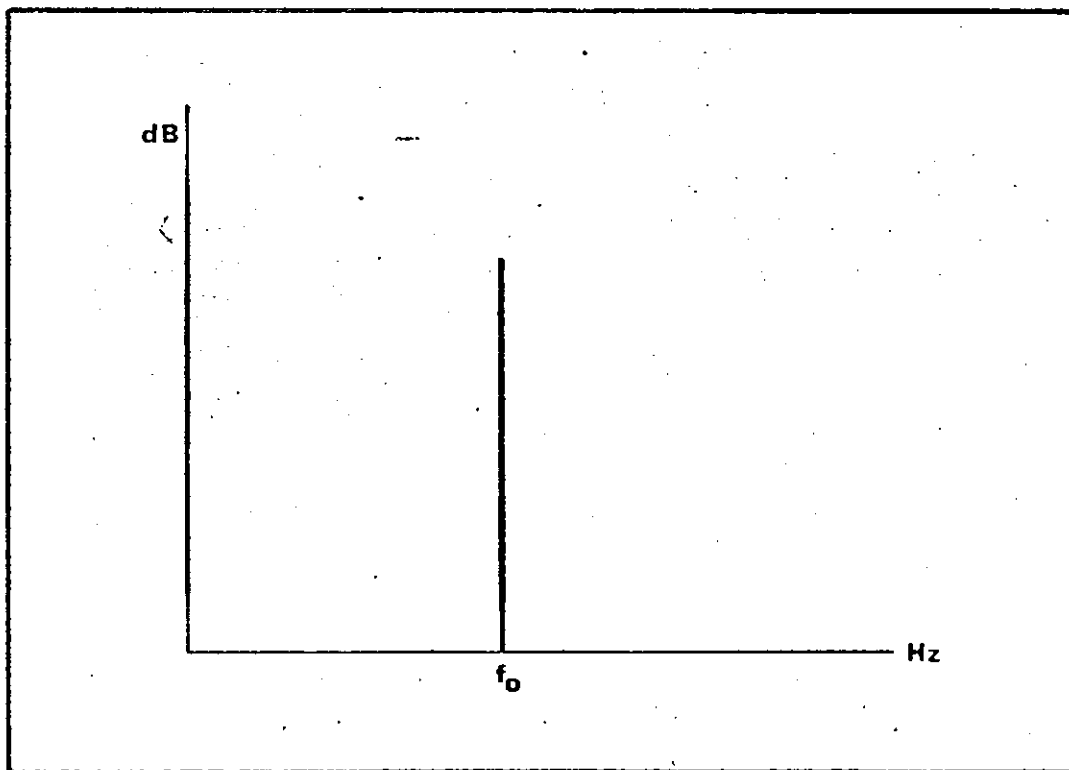


Fig. 19.- Espectro de frequência de um gerador de RF perfeito

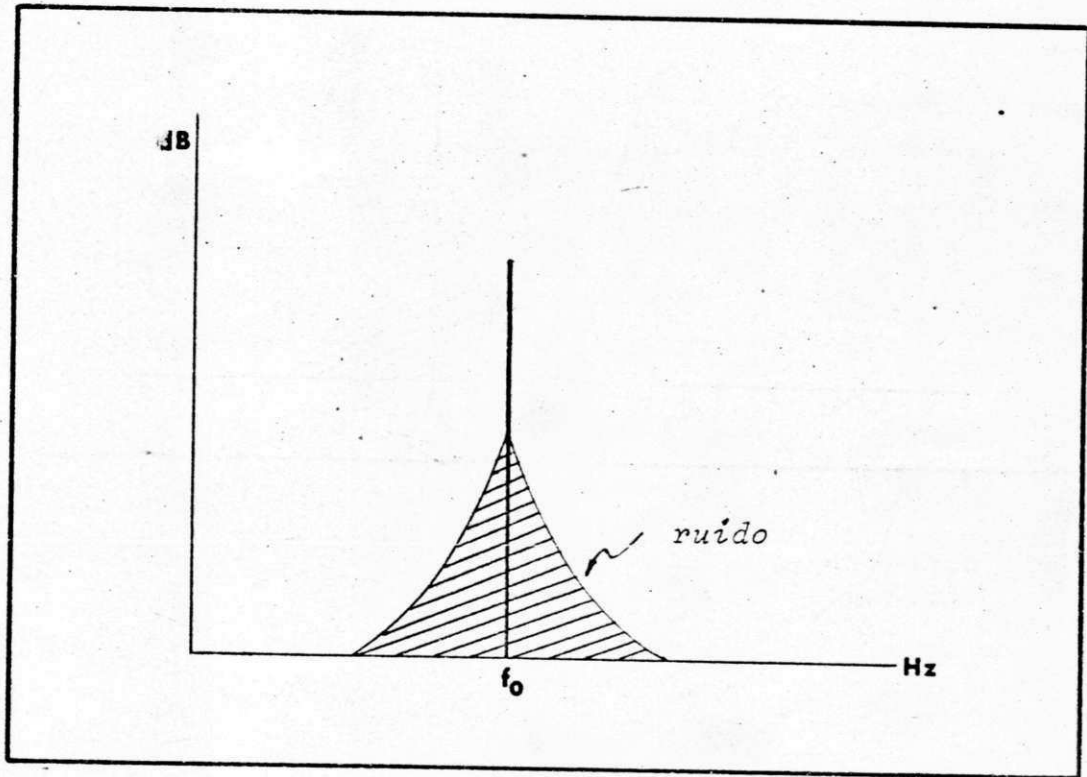


Fig. 20 - Espectro de frequência de um gerador de RF prático

As figuras 21 e 22, onde S_A e S_B correspondem, respectivamente, aos níveis dos sinais desejado e de interferência, mostram o efeito do ruído do gerador na medição da seletividade.

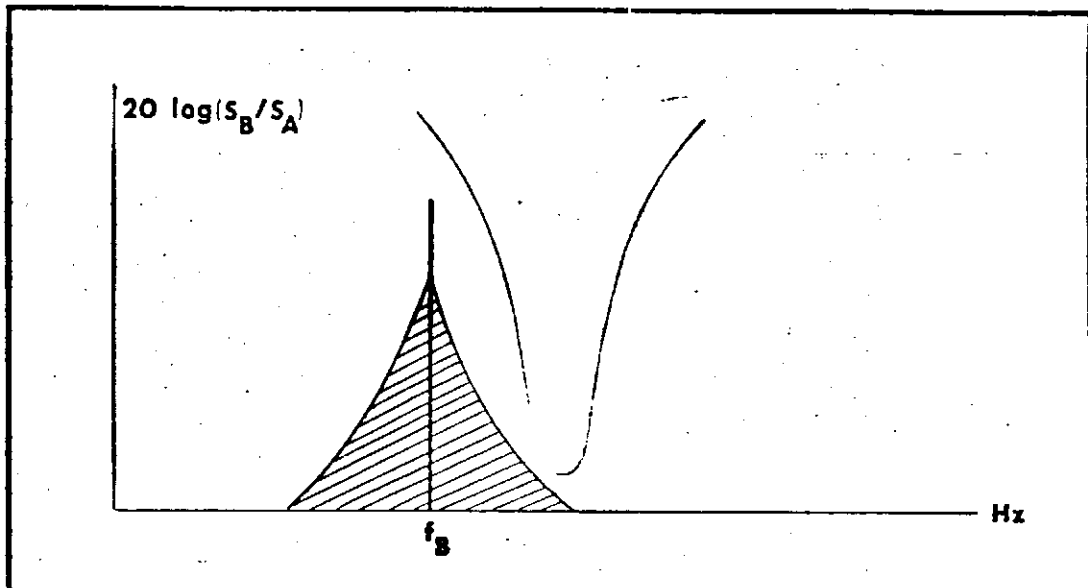


Fig. 21 - Caso em que o ruído do gerador não afeta a medição da seletividade

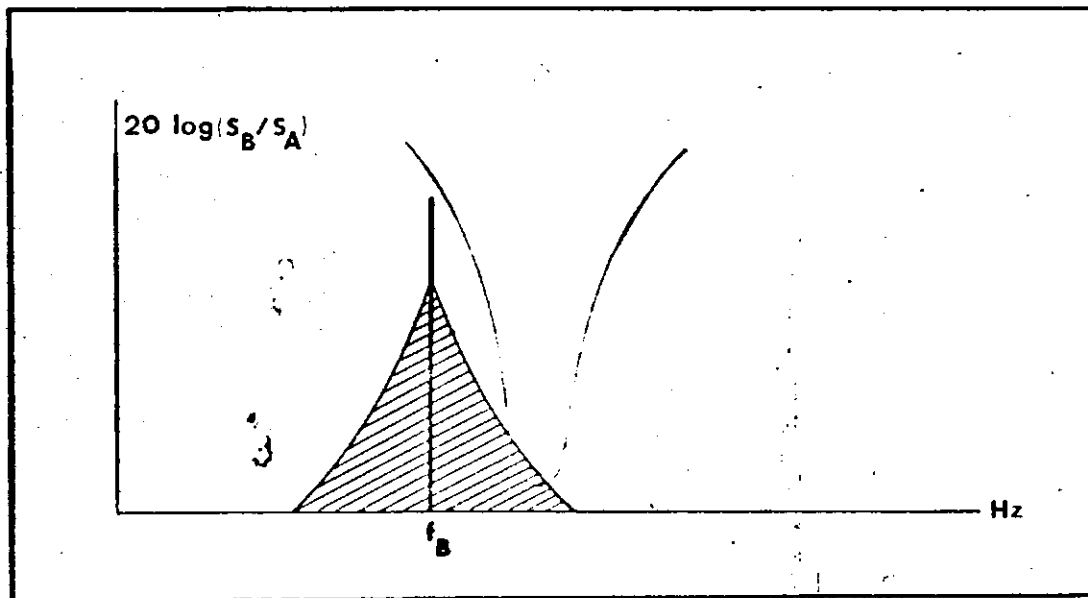


Fig. 22 - Caso em que o ruído do gerador afeta a correta avaliação da seletividade

No caso da figura 21, a presença do ruído no gerador B não causaria nenhum problema na medida da seletividade.

No caso da figura 22, haverá erro na medida, já que o espectro de ruído intercepta a curva de seletividade, acarretando uma diminuição na relação SINAD, antes mesmo que a portadora a intercepte sob determinadas condições de espaçamento de frequência e diferença de nível entre o sinal desejado e o sinal de interferência.

Especificações Mínimas

Embora utilizem essencialmente o mesmo teste, as diversas normas recomendam limites mínimos de seletividade um pouco diferentes.

A EIA (RS-204) especifica 70 dB, o CDC (RSS-121), 50 dB (A RSS-139 do CDC exige uma seletividade de 60 dB).

O MPT estabelece que o gerador B deve ter uma amplitude de 3 mV, o que é equivalente a uma seletividade de aproximadamente 70 dB para receptores com sensibilidade utilizável de 1 μ V.

Uma diferença entre as normas norte-americanas e inglesas está no fato de que estas utilizam 1,5 KHz como frequência de modulação do gerador B.

4.2.6 - Atenuação de Sinais Espúrios

Os sinais espúrios na saída do receptor são resultantes de sua incapacidade de rejeitar sinais indesejáveis que, em combinação com o oscilador local e suas harmônicas, produzem sinais de frequências dentro da faixa de FI.

A atenuação dos sinais espúrios é definida como a relação, expressa em dB, entre a sensibilidade do receptor ao sinal desejado, em sua frequência de ressonância, e sua sensibilidade a qualquer sinal espúrio que não esteja entre os canais adjacentes, nem seja sub-harmônico do sinal desejado.

Para a medição da atenuação, utiliza-se a montagem da figura 23, determinando-se, de início, a sensibilidade do receptor pelo método de silenciamento (V. item 4.2.1). Em seguida, a frequência do gerador de RF é variada cuidadosamente desde a menor frequência de FI ou menor frequência de cristal (adota-se a menor delas) até 1 GHz ou até três vezes a frequência do canal em teste (adota-se a maior delas), sendo anotados todos os espúrios. Para cada sinal espúrio, determina-se o nível do gerador de RF necessário para produzir 20 dB de silenciamento (sensibilidade do receptor ao sinal espúrio).

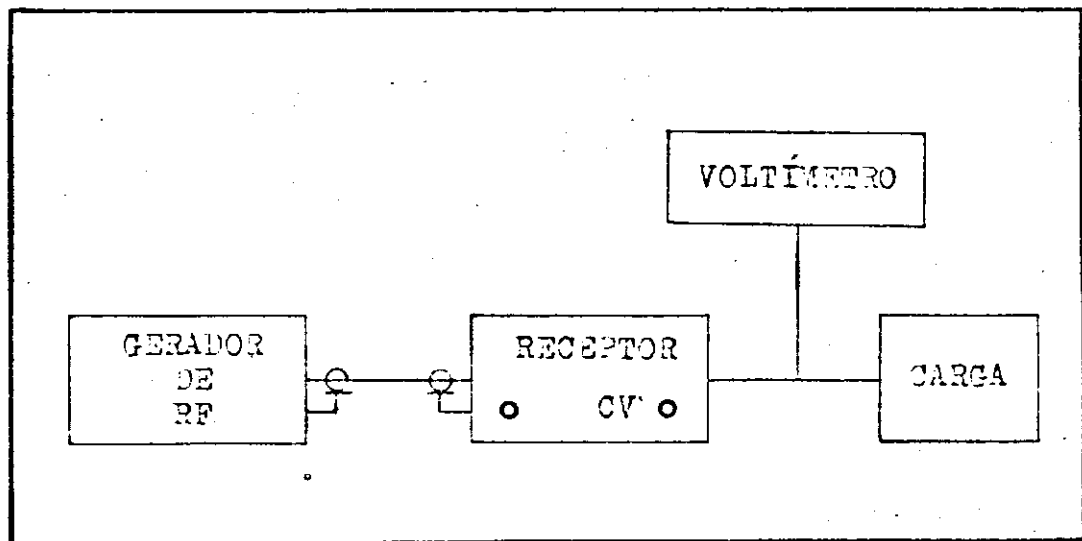


Fig. 23 - Atenuação de sinais espúrios

Na especificação da atenuação, usa-se a sensibilidade ao sinal espúrio mais significativo, ou seja, o menor sinal do gerador de RF, na frequência do espúrio, necessário para produzir 20 dB de silenciamento.

Especificações Mínimas

A EIA exige 85 dB, enquanto que o MPT especifica que o nível do gerador deve ser 2,5 mV, o que equivale a uma atenuação de 68 dB para receptores com sensibilidade de silenciamento de 1 μ V.

Para receptores que operam entre 27,28 MHz e 50 MHz, canal de 20 KHz, o CDC estabelece 85 dB como a mínima atenuação de espúrios. Já nos testes de item de recepção de transceptores móveis VHF e UHF, com potência inferior a 10W, o CDC especifica o valor de 50 dB para a mínima atenuação.

4.2.7 - Atenuação de Intermodulação

Sinais espúrios de intermodulação ocorrem num receptor quando dois ou mais sinais com frequências de tal maneira separadas entre si e a frequência do sinal desejado que, misturando-se nos elementos não lineares do receptor, produzem sinais de frequências dentro da faixa de passagem do receptor.

Para duas frequências f_1 e f_2 , serão geradas, em virtude da intermodulação, infinitas novas frequências (produtos de intermodulação), dadas por:

$$f_1 \pm (n-1)f_2, 2f_1 \pm (n-2)f_2, 3f_1 \pm (n-3)f_2, \dots, (n-1)f_1 \pm f_2$$

onde o valor de n (inteiro) ≥ 2 é definido como a ordem dos produtos de intermodulação.

Somente alguns dos produtos de intermodulação caem dentro da faixa de passagem do receptor, causando, dessa maneira, interferência. São mais importantes, neste caso, os produtos de ordem ímpar localizados perto das frequências f_1 e f_2 . A Tabela 4 ilustra os produtos de intermodulação mais significativos.

Tabela 4 — Produtos de intermodulação mais significativos

PRODUTOS DE 3 ^a ORDEM	PRODUTOS DE 5 ^a ORDEM
$2f_1 - f_2$	$3f_1 - 2f_2$
$f_1 - 2f_2$	$2f_1 - 3f_2$

A atenuação de intermodulação mede a capacidade que tem o receptor de captar o sinal desejado na presença de dois fortes sinais de interferência. A medição é feita empregando-se a montagem da figura 24.

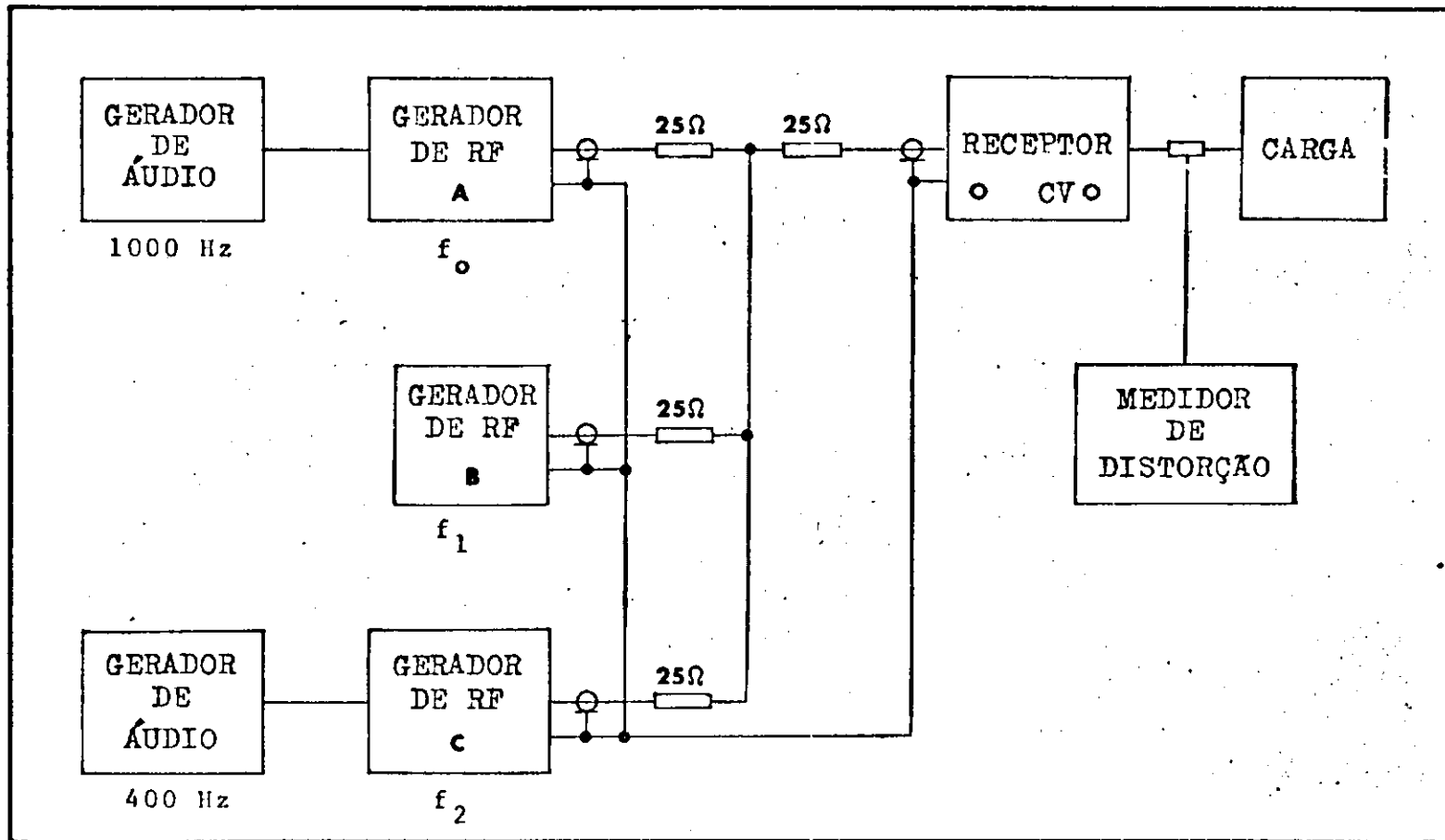


Fig. 24 - Atenuação de intermodulação. Os sinais de interferência f_1 e f_2 são tais que $f_0 = 2f_1 - f_2$.

Com os geradores B e C inicialmente desligados, ajusta-se o gerador A, modulado nas condições normais, para produzir 12 dB SINAD na saída do receptor. Em seguida, os geradores B (não modulado) e C (modulado por 400 Hz a 60% do máximo desvio nominal do receptor) são sintonizados nos dois canais adjacentes, ambos do mesmo lado relativamente à frequência do gerador A, isto é, $f_1 = f_0 + \Delta F$ e $f_2 = f_0 + 2\Delta F$, ou $f_1 = f_0 - \Delta F$ e $f_2 = f_1 - 2\Delta F$, sendo ΔF a largura do canal em prova. As saídas dos geradores B e C, que devem ser mantidas em níveis iguais, são aumentadas até que a relação SINAD devida ao gerador A seja reduzida para 6 dB.

Antes da medição final, a frequência do gerador C (f_2) deve ser cuidadosamente ajustada de modo a produzir máxima interferência.

A atenuação de intermodulação será dada pela relação, expressa em dB, entre o nível dos geradores B e C e o nível do gerador A.

Observações

a) Medição da Atenuação de Intermodulação com Dois Geradores

A atenuação da intermodulação pode ser medida, utilizando-se apenas dois geradores, os quais fornecerão as frequências de interferência f_1 e f_2 , descritas acima, depois de ter sido estabelecido por um deles o nível de referência, na frequência f_0 , necessário para produzir os 12 dB SINAD. Os níveis de saída dos dois geradores (mantidos iguais) são aumentados até que a relação SINAD na saída do receptor seja 12 dB. (Antes da me

dição final, a frequência f_2 deve ser ajustada para dar a máxima relação SINAD).

A atenuação de intermodulação é dada, neste caso, pela relação, em dB, entre o nível dos sinais de interferência (saídas dos geradores A e B) e o nível de referência. (V. figura 25).

b) Intermodulação Resultante dos Geradores

Qualquer que seja o método usado para a medição da atenuação de intermodulação, é sempre aconselhável verificar a possível ocorrência de intermodulação resultante de dois geradores usados como interferência. De fato, a existência de não linearidade nos próprios geradores, ou em quaisquer outros elementos ou instrumentos porventura ligados à saída dos geradores, implicará na geração de produtos de intermodulação que fatalmente afetarão a correta avaliação da intermodulação devida apenas ao receptor.

A ocorrência ou não da intermodulação devida aos geradores pode ser verificada, introduzindo-se um atenuador de 10 dB entre o circuito de acoplamento e o receptor, refazendo-se, então, o procedimento usado para a determinação da atenuação de intermodulação do receptor. Se o valor desta for igual ao obtido na montagem original, isto é, sem o atenuador, é porque não está havendo intermodulação entre os geradores. Caso contrário, constatada a existência de intermodulação entre os geradores, tornar-se-á necessário reduzi-la na montagem final para medição da atenuação de intermodulação do receptor. Isto pode ser conseguido com o uso de acopladores direcionais entre os geradores, conforme ilustram as figuras 26 e 27.

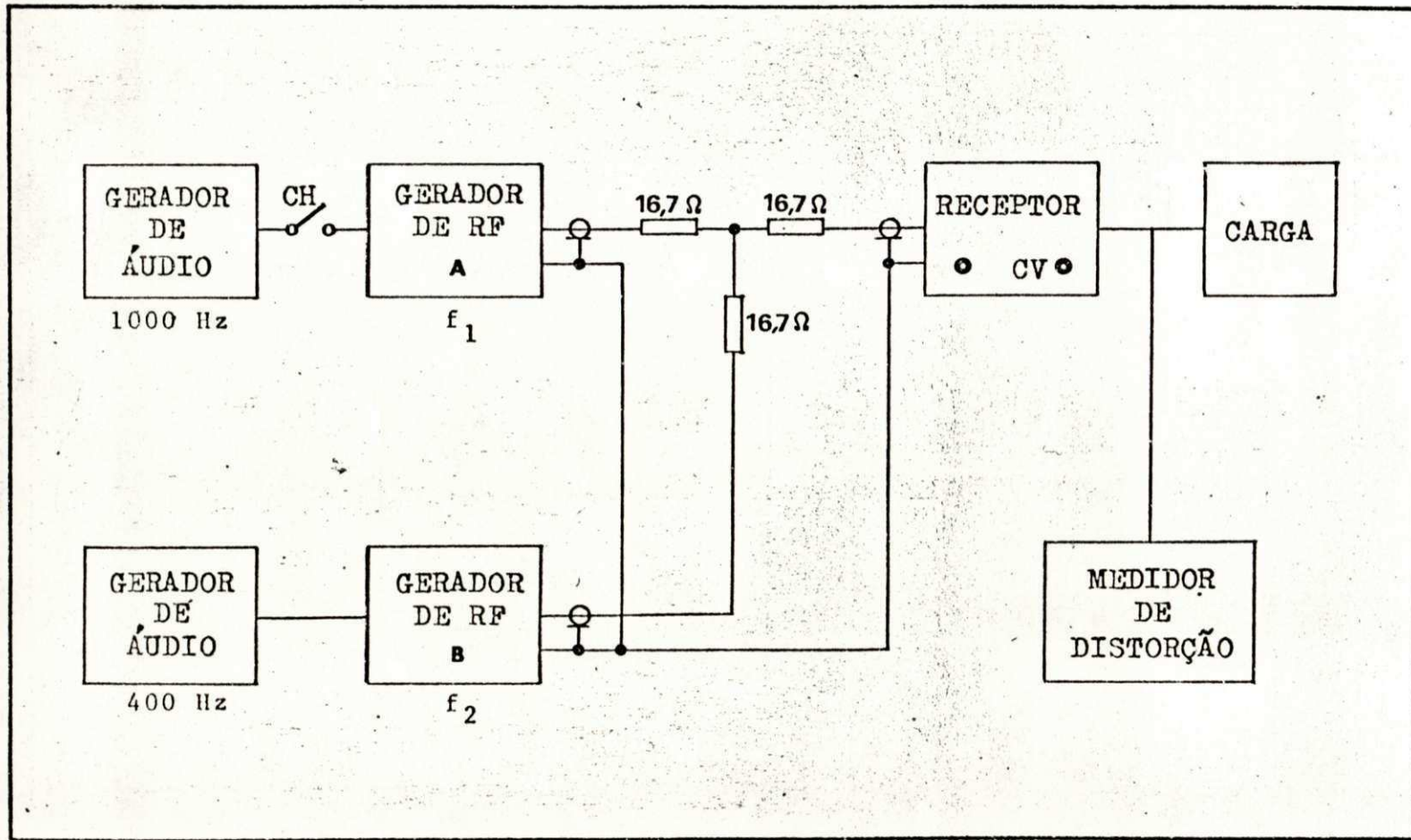


Fig. 25 - Atenuação de intermodulação pelo método dos dois geradores. O nível de referência é estabelecido pelo gerador A na frequência f_0 , estando B desligado

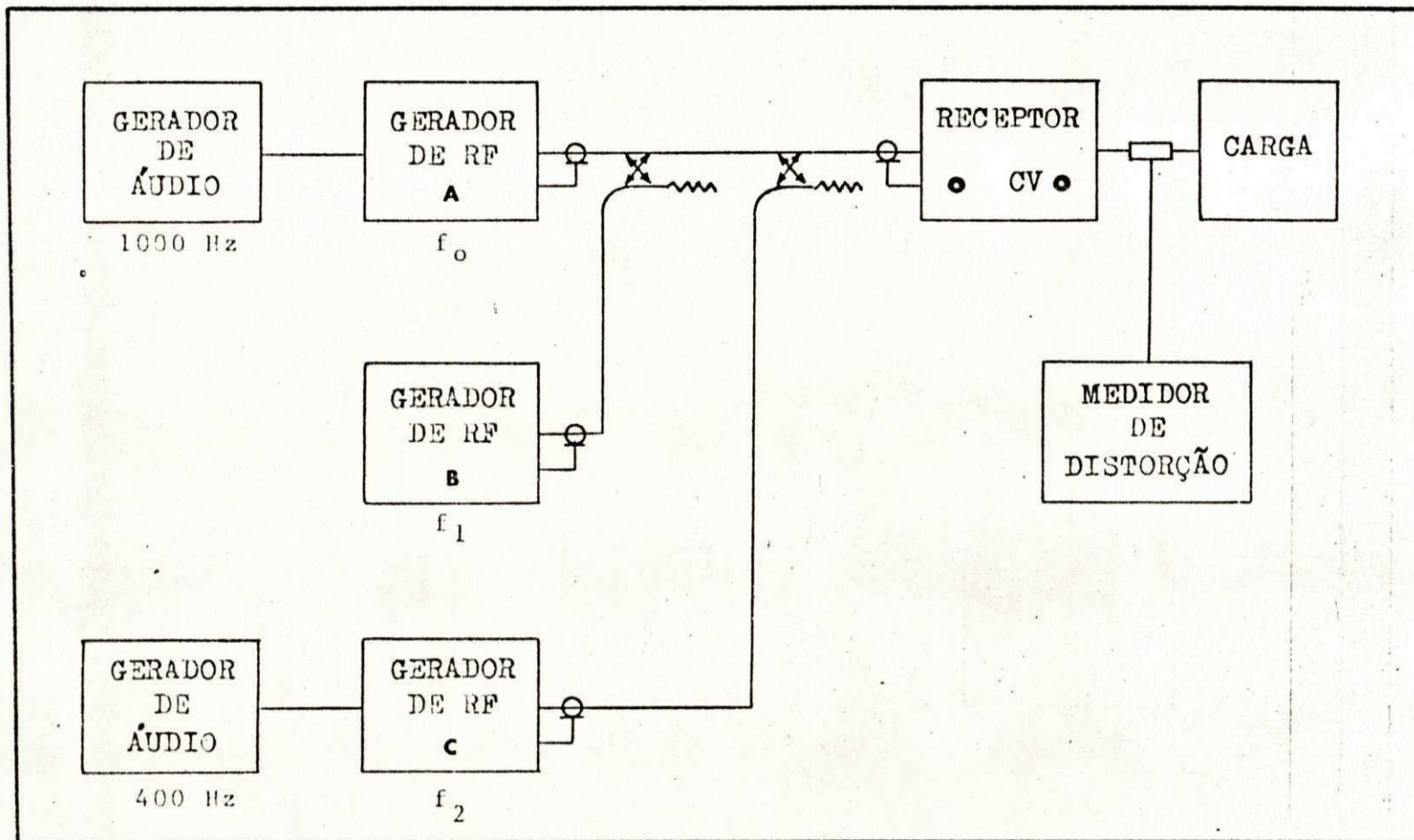


Fig. 26 - Uso de acopladores direcionais na medição da atenuação de intermodulação pelo método dos três geradores

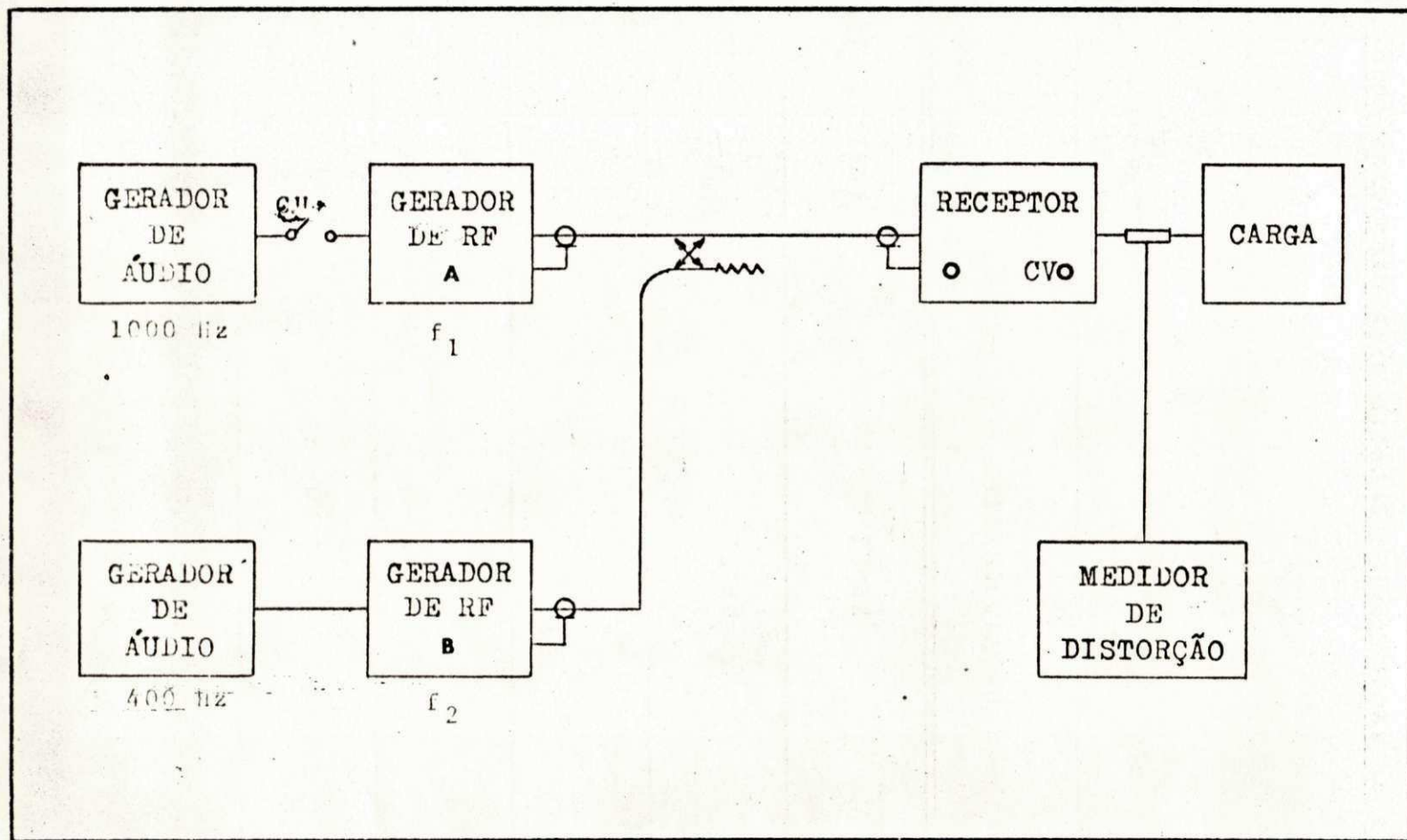


Fig. 27 - Uso de acoplador direcional na medição da atenuação de intermodulação pelo método dos dois geradores

Especificações Mínimas

A Tabela 5 apresenta os valores mínimos da atenuação de intermodulação ditados pelas normas de alguns países.

Tabela 5 — Mínima atenuação de intermodulação

NORMA	MÍNIMA ATENUAÇÃO DE INTERMODULAÇÃO
E.U.A. (EIA)	50 dB
CANADÁ	60 dB
DINAMARCA	60 dB
INGLATERRA	60 dB
SUÉCIA	70 dB (VHF) e 60 dB (UHF)

4.2.8 - Potência de Saída de Áudio

Corresponde à potência que o receptor fornece à carga normal de teste sem ultrapassar um determinado nível de distorção.

A medição da potência de saída de áudio é feita utilizando-se a montagem da figura 28.

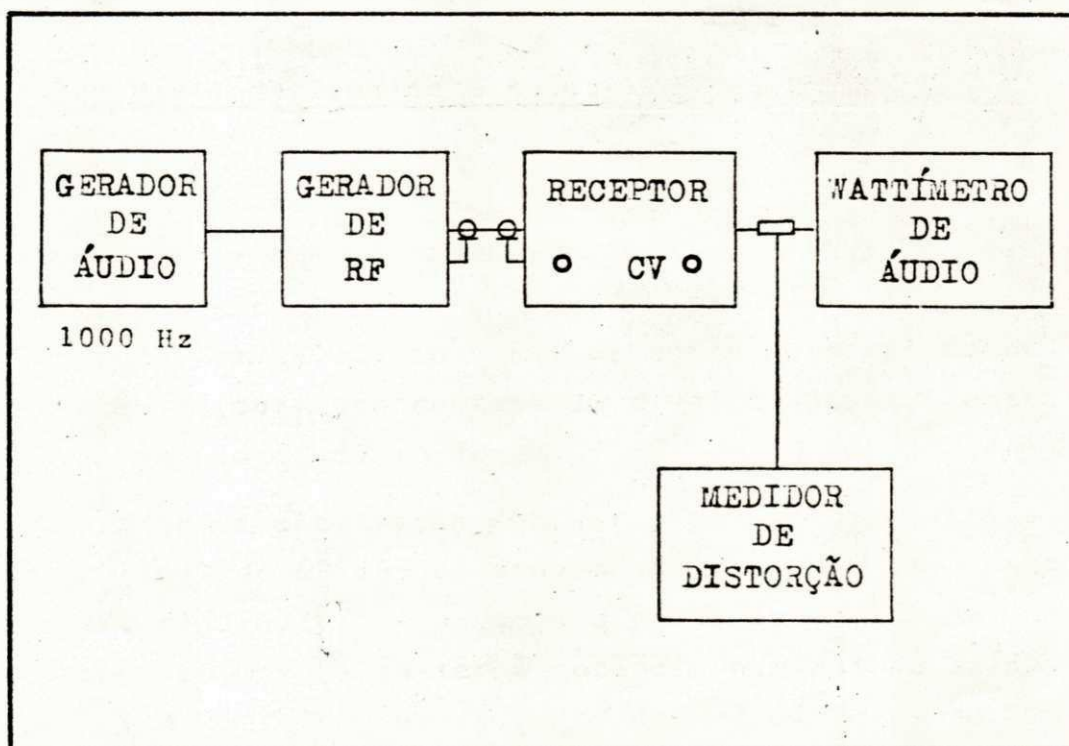


Fig. 28 - Potência de saída de áudio do receptor

O gerador, modulado nas condições normais, deve fornecer ao receptor um sinal de 60 dB- μ V. Ajusta-se o controle de volume do receptor, de modo a se ter na saída a distorção especificada pelo fabricante ou uma distorção de 10% (adota-se a menor delas), medindo-se, então, no wattímetro de áudio a correspondente potência de saída.

Especificações Mínimas

Para as normas do CDC, a potência de saída de áudio especificada pelo fabricante não deve ser maior que a potência medida conforme a descrição acima.

4.2.9 - Nível de Zumbido e Ruído

O nível de zumbido e ruído do receptor corresponde ao nível residual de saída do receptor quando à sua entrada se tem aplicado um sinal de RF não modulado. É comumente expresso em dB pela relação entre a saída do receptor devida ao sinal de entrada normal de teste e a saída correspondente a um sinal de RF de entrada, não modulado, de 60 dB- μ V.

Para a efetivação do teste, aplica-se ao receptor um sinal de 60 dB- μ V, modulado nas condições normais (V. figura 29). Ajusta-se o controle de volume do receptor, de modo a se ter a potência nominal de saída. Em seguida, desliga-se o gerador de áudio e mede-se a potência residual de saída. A relação, expressa em dB, entre a potência nominal e a potência residual de saída do receptor dá o nível de zumbido e ruído que se deseja medir.

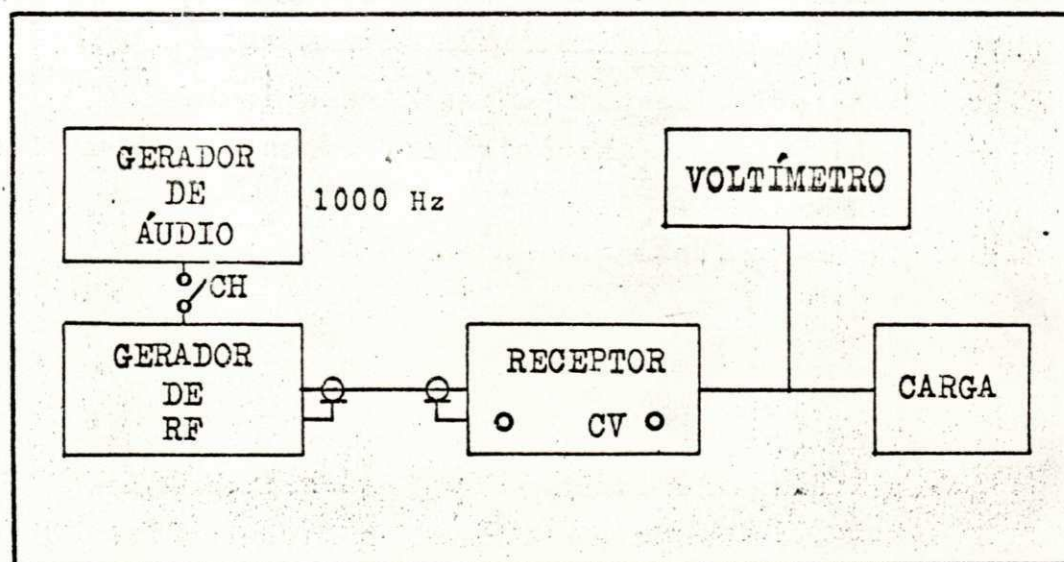


Fig. 29 - Nível de zumbido e ruído do receptor

Neste caso, é mais prático empregar um voltímetro com escala calibrada em dB do que usar um wattímetro de áudio. Dessa maneira, o nível de zumbido e ruído será expresso simplesmente pela diferença entre as duas leituras de saída.

Especificações Mínimas

O nível de zumbido e ruído do receptor deve ser, no mínimo, igual a 40 dB, segundo as normas EIA, e igual a 37 dB, de acordo com o CDC.

4.2.10 - Rejeição de Ruído Impulsivo

Ruídos impulsivos são constituídos por pulsos discretos, sendo, principalmente, de dois tipos: ruídos atmosféricos e ruídos artificiais (causados por motores de ignição, comutadores e outras máquinas elétricas).

A rejeição do ruído impulsivo pode ser determinada em duas etapas, utilizando-se a montagem da figura 30:

a) Determina-se inicialmente a sensibilidade limiar do silenciador do receptor (V. item 4.2.2).

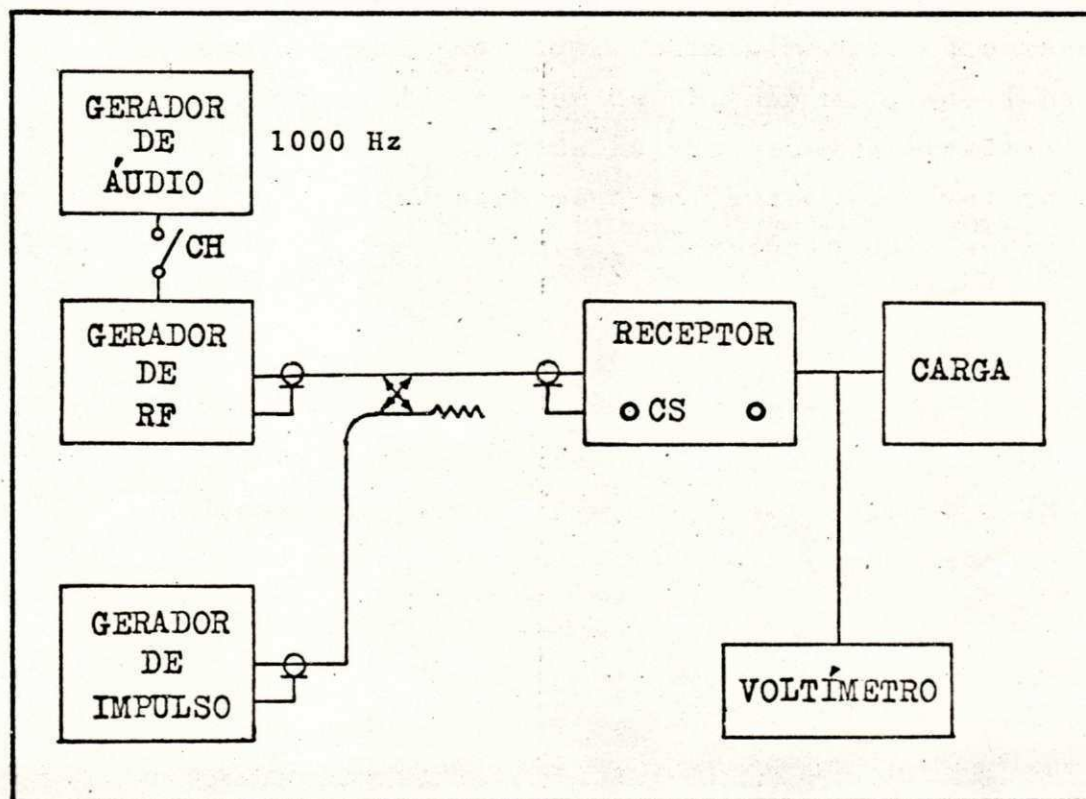


Fig. 30 - Rejeição de ruído impulsivo

Na montagem da figura 30, o gerador de impulso deve estar totalmente atenuado e a chave CH deve estar fechada.

Em seguida, reduz-se totalmente a saída do gerador de RF e determina-se, então, o nível de saída do gerador de impulso, a 60 p.p.s., necessário para abrir o silenciador.

Especificações Mínimas

As normas militares norte-americanas estabelecem, como mínimo nível de saída do gerador de impulso, 90 dB- μ V/MHz (*).

b) Com o gerador de impulso totalmente atenuado, ajusta-se o nível do gerador de RF, não modulado (chave CH aberta), para um valor de 60% da sensibilidade limiar do silenciador. Determina-se, então, o nível do gerador de impulso, a 60 p.p.s., necessário para abrir o silenciador.

Especificações Mínimas

O mínimo nível de saída do gerador de impulso, nas condições descritas acima, deve ser 50 dB- μ V/MHz, ainda de acordo com as normas militares norte-americanas.

(*) Se se quiser atender a esta especificação, deve-se, obviamente, exigir que o gerador de impulso tenha uma tensão de pico, em qualquer faixa, não inferior a 90 dB- μ V/MHz. Esta característica é mais exigente que a especificada no item 2.7.b.

5 - TESTES DE TRANSMISSOR

5.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os testes aqui descritos se destinam à verificação de características de transmissores FM, não multiplex, operando em radiotelefonia, e que não possuam sub-sistemas especiais.

Os testes apresentados podem ser executados independentemente de qualquer ordem preferencial.

5.2 - TESTES

5.2.1 - Potência da Portadora

Corresponde à potência média fornecida à carga de teste pelo transmissor funcionando nas condições normais, mas sem modulação.

A medição da potência da portadora é normalmente feita num wattímetro de RF, com o transmissor operando, sem modulação, numa das seguintes condições, conforme sejam as especificações do fabricante:

a) Contínua e Semi-Contínua

O transmissor é posto a operar durante um longo período, ao final do qual se faz a medição da potência.

A EIA e o CDC estabelecem esse período de funcionamento em 24 horas para a operação contínua e em 8 horas (CDC) para a operação semi-contínua, sendo aceitável pelo CONTEL, em qualquer caso, um período menor, compreendido entre 1 hora e 6 horas.

b) Intermitente

O transmissor fica alternativamente ligado e desligado (ciclos curtos) durante um longo período.

A EIA e o CDC recomendam, neste caso, que as medições de potência da portadora sejam feitas durante três períodos de 5 minutos em funcionamento, separados por dois períodos de 15 minutos desligado, depois de o transmissor ter permanecido por 8 horas em ciclos alternados de 1 minuto ligado e 4 minutos desligado.

O CONTEL especifica um período de funcionamento de 1 hora, obedecendo a um ciclo alternado de 1 minuto ligado e 3 minutos desligado, sendo feitas as medições em intervalos de 15 minutos. Como as medições de potência são realizadas durante o tempo em que o transmissor está ligado, os intervalos de 15 minutos não são muito adequados. O autor recomendaria, neste caso, que no período de 1 hora, constando de 15 ciclos de 1 minuto ligado e 3 minutos desligado, se fizessem três leituras de potência em intervalos de 5 ciclos.

O valor da potência da portadora corresponde à mínima potência medida durante o período de teste.

Especificações Mínimas

Em qualquer tipo de operação do transmissor, a potência da portadora especificada pelo fabricante não deve ser maior que a potência medida, segundo as normas EIA, não podendo, de acordo com o CONTEL, ser maior que a medida mais 10%.

Para o CDC, a potência especificada deve estar compreendida entre 0 dB e -1 dB da potência medida,

o que equivale a dizer que não deve ser maior que esta, podendo ser, num caso extremo, -20% menor.

5.2.2 - Limitação de Modulação ou Limitação de Desvio

Mede a capacidade que tem o transmissor de impedir que sejam produzidos, pela modulação, desvios de frequência maiores que o máximo desvio nominal.

Antes de ser efetuado o teste, o transmissor deve ser ajustado, segundo as instruções do fabricante, para produzir o máximo desvio nominal. Para a realização do teste, considere-se a montagem da figura 31.

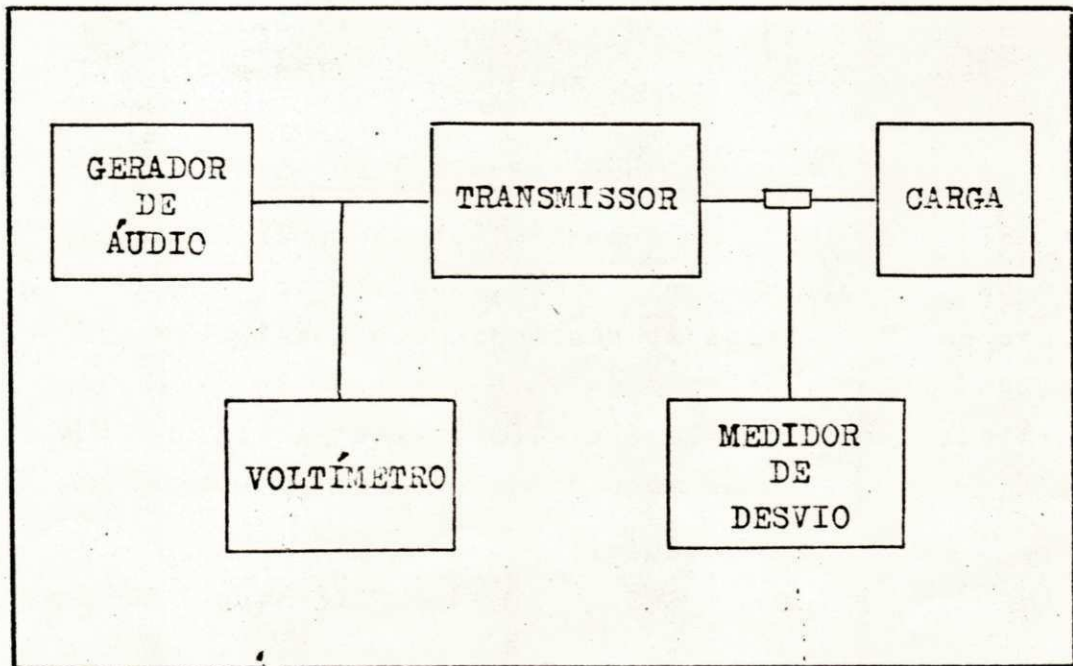


Fig. 31 - Limitação de modulação

O nível do gerador de áudio, a 1000 Hz, é ajustado para produzir 60% do máximo desvio nominal (condições normais). Esse nível é, então, aumentado de 20 dB (leitura feita no voltímetro), sendo, logo em seguida, observada a variação ocorrida no desvio de frequência (leitura feita no medidor de desvio).

Mantendo-se o gerador de áudio no nível aumentado de 20 dB, repete-se o teste para frequências entre 300 e 3000 Hz.

Especificações Mínimas

O máximo desvio, instantâneo ou permanente, observado no teste não deve ser maior que o máximo desvio nominal do transmissor, segundo as normas do CDC, CONTEL, EIA e MPT.

5.2.3 - Resposta de Áudio-Frequência

A resposta de áudio-frequência do transmissor corresponde à proximidade com que o desvio de frequência do transmissor acompanha uma característica de pré-ênfase de +6 dB/oitava, relativa ao nível correspondente a 1000 Hz, na faixa de 300 a 3000 Hz, sendo constante a amplitude do sinal de áudio de entrada.

A medida pode ser realizada utilizando-se a montagem da figura 32.

O nível do gerador de áudio, a 1000 Hz, é ajustado para produzir um desvio de 30% do máximo nominal. Esse desvio é adotado como referência (0 dB).

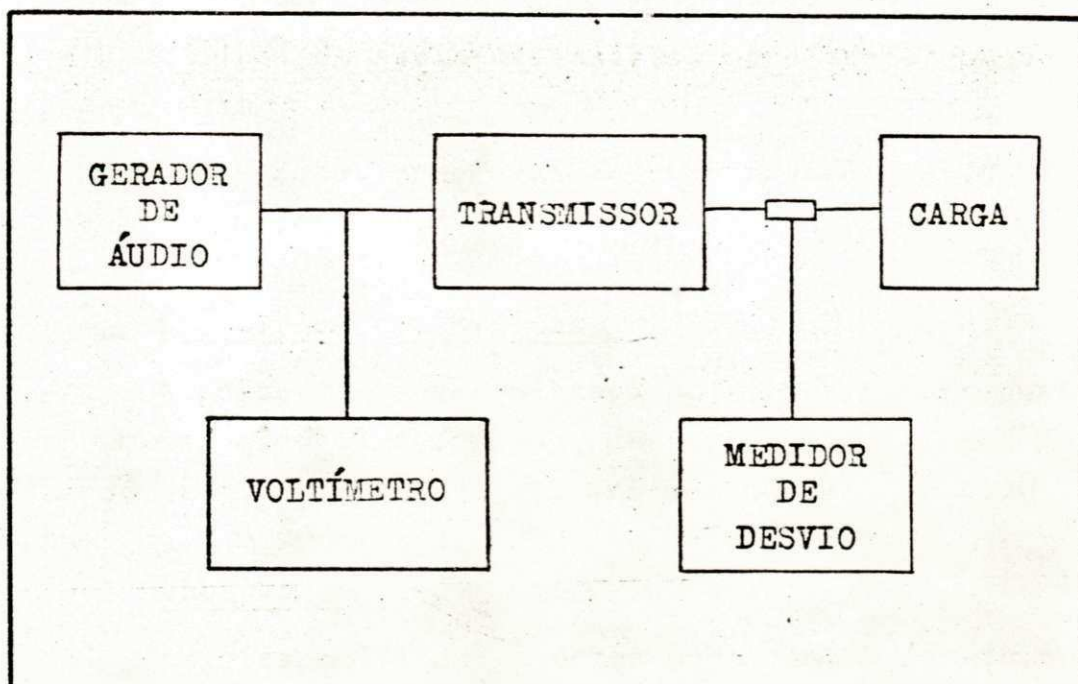


Fig. 32 - Medição da resposta de áudio-frequência

Mantendo-se constante o nível do sinal de áudio, varia-se a frequência de 300 a 3000 Hz, sendo anotadas as correspondentes variações no desvio de frequência.

Observação

No teste recomendado pela EIA e CONTEL, em vez de se manter constante o nível do gerador de áudio, estabelece-se a 1000 Hz, mantém-se constante o desvio de frequência (30% do máximo nominal). Varia-se, então, a frequência de áudio entre 300 e 3000 Hz, anotando-se os

níveis do sinal de áudio necessários para manter o desvio constante.

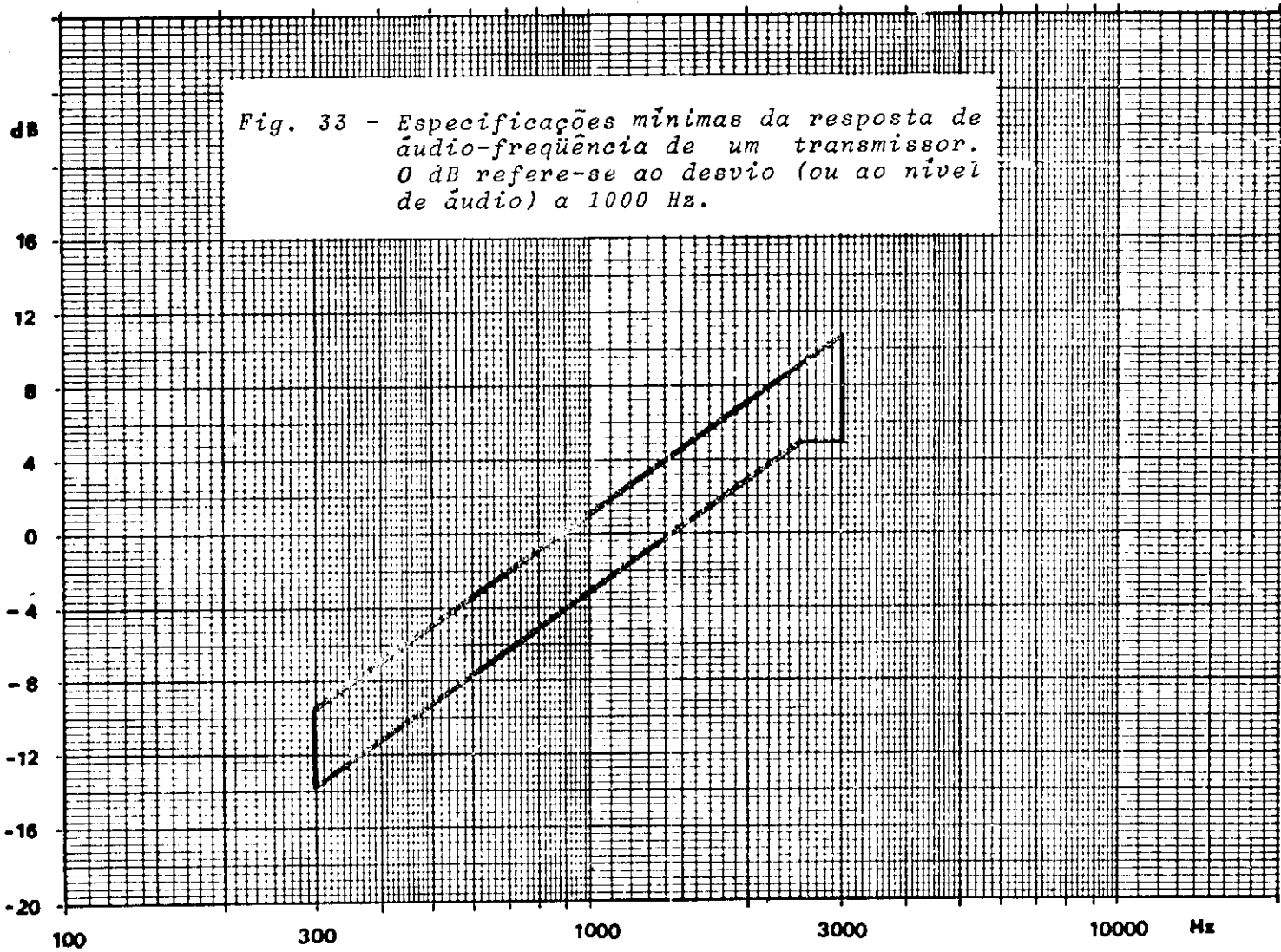
Neste caso, considera-se como referência (0 dB) o nível do gerador a 1000 Hz.

Especificações Mínimas

A resposta de áudio-freqüência, obtida por qualquer um dos métodos descritos, deve estar dentro da região do gráfico da figura 33. (Normas da EIA e CDC).

Observação

Esta especificação corresponde também à recomendação do CONTEL (NTC-17), a menos da queda maior (+6 dB por oitava), entre 2500 Hz e 3000 Hz, admissível pelas normas da EIA e CDC e considerada na figura 33.



5.2.4 - Distorção Harmônica de Áudio-Frequência

A distorção harmônica de áudio-frequência corresponde à variação no conteúdo harmônico do sinal de áudio de entrada, ao passar pelos circuitos de áudio e RF do transmissor.

Antes da realização do teste, o transmissor é ajustado, segundo as instruções do fabricante, para produzir o máximo desvio nominal. Para o teste, usa-se a montagem da figura 34.

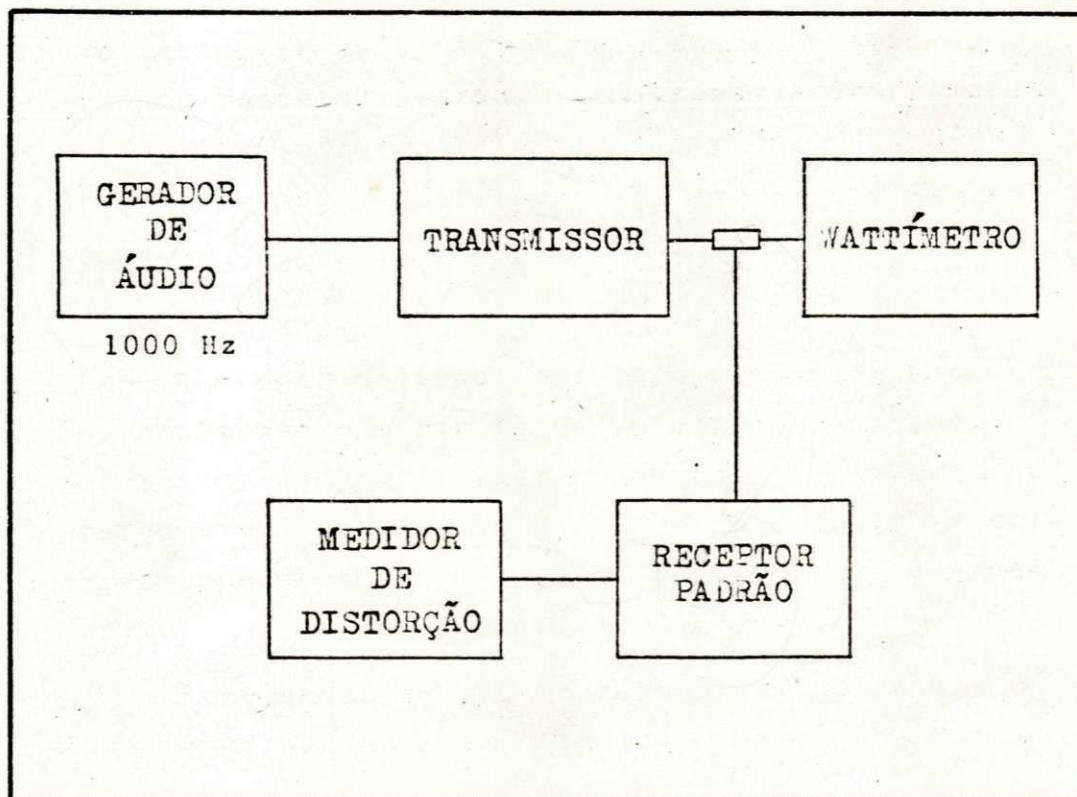


Fig. 34 - Distorção harmônica de áudio-frequência

O gerador de áudio, a 1000 Hz, deve fornecer um nível tal que produza a modulação normal de teste. Mede-se a distorção harmônica de áudio na saída do receptor padrão, sintonizado na frequência da portadora.

Especificações Mínimas

A distorção harmônica medida não deve ser maior que 10%, segundo as normas do CONTEL e EIA.

5.2.5 - Zumbido e Ruído de FM da Portadora

O nível de zumbido e ruído de FM da portadora corresponde à relação, expressa em dB, entre o nível de áudio medido na saída de um detetor de FM (medidor de desvio ou receptor padrão), com transmissor modulado nas condições normais, e o nível residual de saída com o transmissor sem modulação.

Considere-se, para o teste, a montagem da figura 35.

Com o transmissor modulado nas condições normais, ajusta-se o controle de volume do receptor padrão, sintonizado na frequência da portadora, de modo a se ter o nível nominal de saída do receptor. Retirando-se a modulação do transmissor, observa-se o nível residual de saída do receptor.

A relação, em dB, entre o nível nominal e o nível residual de saída do receptor exprime o nível de zumbido e ruído de FM da portadora.

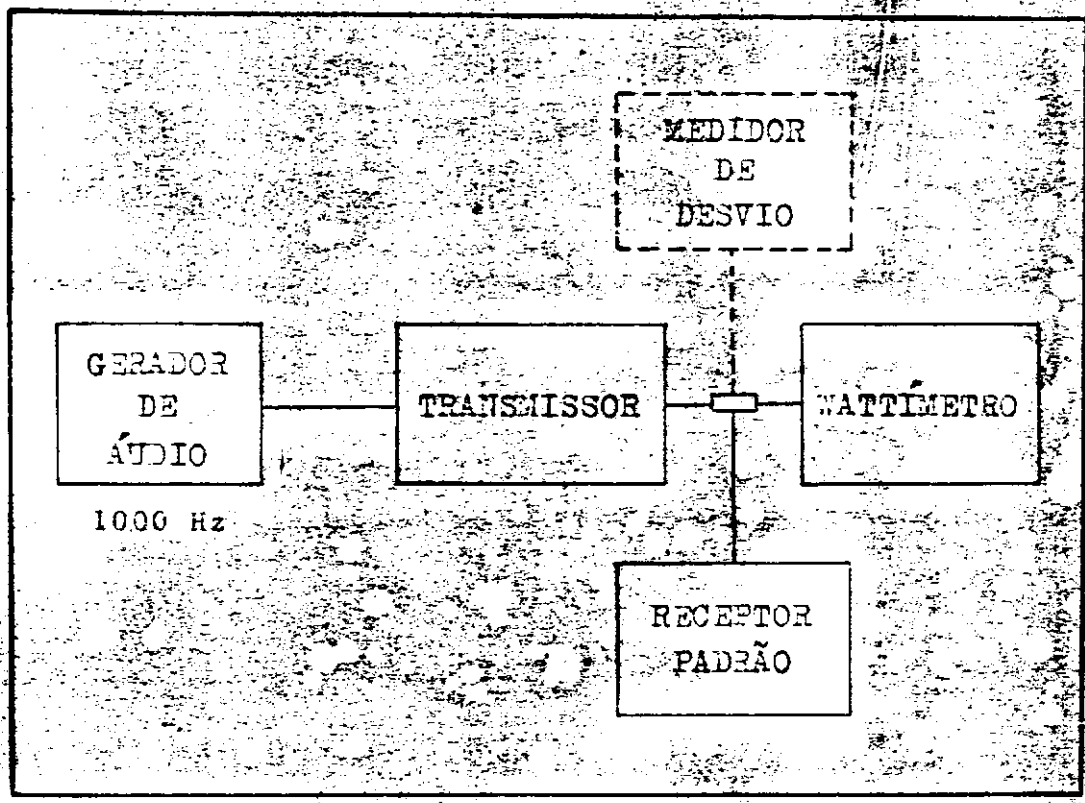


Fig. 35 - Nível de zumbido e ruído de FM da portadora

Observações

- a) Se o detetor de FM usado no teste for um mediador de desvio, o nível de zumbido e ruído de FM da portadora será expresso, em dB, pela relação entre o desvio do transmissor nas condições normais e o desvio residual de FM com o transmissor sem modulação.
- b) Para a medição do desvio residual de FM, refira-se ao Apêndice C.

Especificações Mínimas

De acordo com as normas do CONTEL, o nível de zumbido e ruído de FM da portadora não deve ser inferior a 35 dB.

5.2.6 - Atenuação de Sinais Espúrios

Sinais espúrios são quaisquer radiações emitidas pelo transmissor, não modulado, em frequências fora do canal analisado. Consideram-se sinais espúrios as radiações harmônicas, as radiações parasitas e os produtos de intermodulação afastados do canal em teste.

A atenuação de sinais espúrios é dada, em dB, pela relação entre o nível da portadora e o nível do maior espúrio detetado. A figura 36 ilustra a montagem para a medição da atenuação de sinais espúrios.

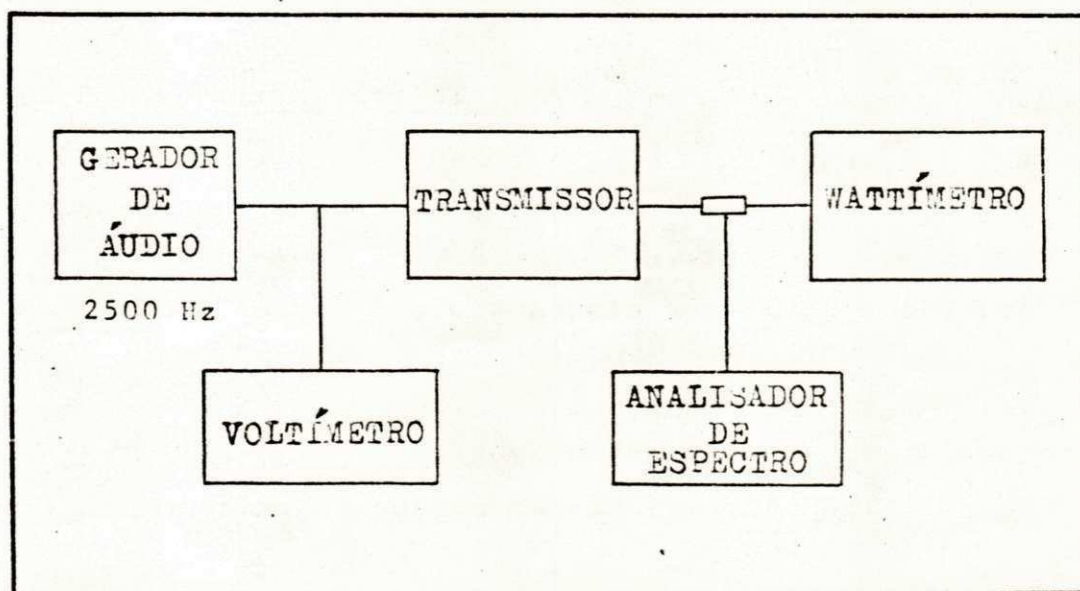


Fig. 36 - Atenuação de sinais espúrios

Antes da realização do teste, determina-se o nível do gerador, a 1000 Hz, necessário para produzir 50% do máximo desvio nominal do transmissor. Alterando-se a frequência de modulação para 2500 Hz e o nível de áudio para um valor 16 dB maior, passa-se a observar cuidadosamente no analisador de espectro toda a gama de frequência que vai da menor frequência gerada até 1 GHz ou até a terceira harmônica da portadora (adota-se a maior frequência).

No analisador de espectro, o nível de cada sinal espúrio é medido diretamente em dB relativamente à portadora.

Em virtude da dificuldade em se medir as radiações espúrias que estão relativamente próximas do canal em prova, não se analisam neste teste frequências que se encontram na região compreendida entre $\pm 250\%$ do canal analisado.

Especificações Mínimas

As normas EIA recomendam que a atenuação de sinais espúrios seja de, pelo menos, $43 \text{ dB} + 10 \log P$, onde P (expresso em watts) é a potência da portadora. A mesma especificação é adotada pelo CONTEL para transmissores com potência de portadora menor que 25W ou maior que 1 KW. Ainda segundo as normas do CONTEL, transmissores com potência de portadora entre 25W e 1 KW devem ter, como mínima atenuação de espúrios, 60 dB.

5.2.7 - Estabilidade em Frequência

Estabilidade em frequência é a característica que tem o transmissor de manter, dentro de certos limites, a frequência da portadora não modulada, quando se lhe impõem grandes variações em temperatura e na fonte de alimentação. O teste de estabilidade é feito empregando-se a montagem da figura 37.

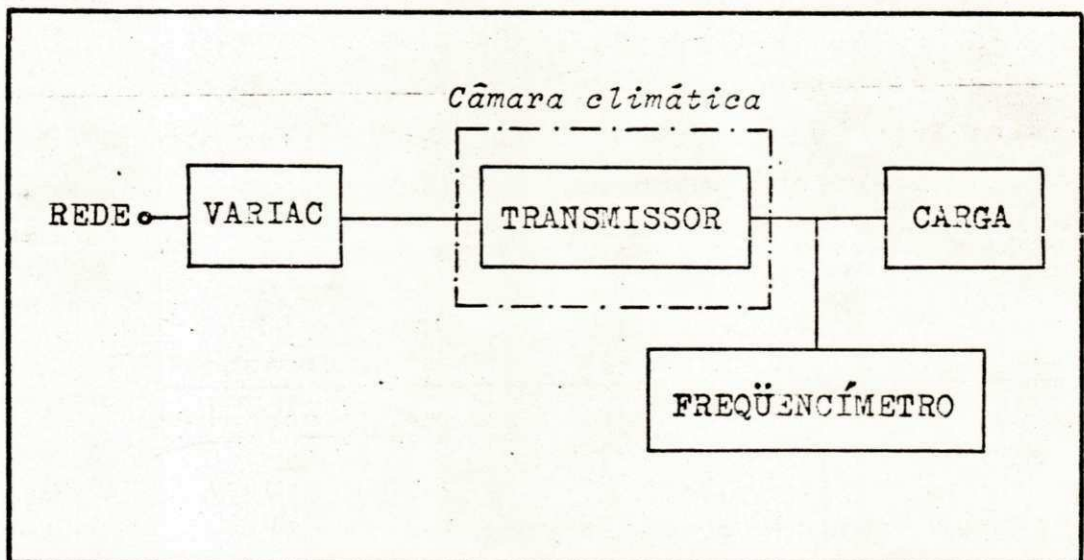


Fig. 37 - Estabilidade em frequência

Determina-se, inicialmente, a frequência da portadora, sob condições normais, a 25°C , considerada como frequência de referência. Para este teste, coloca-se o transmissor na câmara climática, deixando-o desligado

até que a temperatura se estabilize em 25°C. Liga-se, então, a fonte de alimentação (condições normais), deixando o transmissor passar por um período de aquecimento de 1 hora, ao final do qual é posto a operar, sem modulação, na condição contínua ou intermitente, conforme o caso, sendo feitas leituras de frequência em intervalos de 1 minuto durante 15 minutos.

A frequência de referência é considerada como a média aritmética das leituras feitas.

As demais medições são executadas com o transmissor, não modulado, submetido às temperaturas de 0°C e 50°C (*) e tensão de alimentação +15% e -15% relativamente à tensão de alimentação normal de teste.

Os pormenores do teste são apresentados a seguir:

1) Temperatura de 0°C e Tensão de Alimentação Normal Menos 15%

O transmissor deve permanecer desligado no ambiente estabilizado a 0°C da câmara climática durante, pelo menos, 1 hora. Em seguida, liga-se a fonte de alimentação (condições normais), dando ao transmissor um período de aquecimento de 15 minutos, ao cabo do qual se reduz a fonte de alimentação de 15% e se põe o transmissor em operação contínua ou intermitente, conforme o caso, fazendo-se leituras de frequência durante 5 minutos.

Observação

No caso de operação intermitente, entenda-se co

(*) Em vista das condições climáticas do Brasil, país essencialmente tropical, não há necessidade de extremos mais rigorosos que estes.

Podem ser determinadas também, com procedimento análogo ao descrito acima, as variações de frequências em temperaturas significativas entre os extremos 0°C e 50°C .

Terminada a experiência, obtém-se a estabilidade em frequência da portadora, calculando-se a máxima variação ocorrida entre as frequências medidas e a frequência de referência.

Especificações Mínimas

A Tabela 6 resume as especificações mínimas estabelecidas pelas normas da EIA, CDC e CONTEL em diversas faixas de frequências.

Tabela 6 — Especificações mínimas de estabilidade em frequência

NORMA	FAIXA DE OPERAÇÃO (MHz)	ESTABILIDADE EM FREQUÊNCIA
RS-152-B (EIA) (Estação Fixa)	25-50	$\pm 0,002\%$
	50-450	$\pm 0,0005\%$
	450-470	$\pm 0,00025\%$
NTC-17 (CONTEL)	25-50	$\pm 0,002\%$
	148-174	$\pm 0,0006\%$
	450-470	$\pm 0,0006\%$
RSS-121 (CDC)	27,23-50	$\pm 1,0$ KHz
	138-174	$\pm 1,74$ KHz
	410-470	$\pm 2,35$ KHz
MPT-101 (MPT) (Estação Fixa)	450-470	$\pm 2,5$ KHz
MPT-102 (MPT) (Estação Móvel)	450-470	$\pm 3,0$ KHz

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições de teste e os métodos de medição analisados no texto poderiam perfeitamente servir como futuras normas brasileiras de teste, merecendo especial atenção as normas de teste de receptor, ainda não fornecidas pelo CONTEL. Tomando como base as diversas especificações citadas no trabalho, o autor sugeriria, como especificações mínimas a serem exigidas dos equipamentos sob teste, as mencionadas nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 — Especificações mínimas sugeridas para receptor

SENSIBILIDADE (utilizável ou de silenciamento)	1,0 μ V em aberto (HF)
	1,5 μ V em aberto (VHF)
	3,0 μ V em aberto (UHF)
SENSIBILIDADE LIMIAR DO SILENCIADOR	0,5 μ V em aberto (HF)
	0,75 μ V em aberto (VHF)
	1,5 μ V em aberto (UHF)
FAIXA DE ACEITAÇÃO DE MODULAÇÃO	$\pm 2 \Delta f_m$
ATENUAÇÃO DE SINAIS ESPÚRIOS	70 dB
SELETIVIDADE	70 dB
NÍVEL DE ZUMBIDO E RUÍDO	40 dB
ATENUAÇÃO DE INTERMODULAÇÃO	60 dB
RESPOSTA DE ÁUDIO-FREQUÊNCIA	Conforme figuras 15 (alto-falante e fone) e 16 (linha de áudio)
REJEIÇÃO DE RUÍDO IMPULSIVO	Teste a) 70 dB- μ V/MHz
	Teste b) 40 dB- μ V/MHz

Tabela 8 — Especificações mínimas sugeridas para transmissor

POTÊNCIA DA PORTADORA	Dentro de $\pm 10\%$ do valor fornecido pelo fabricante
LIMITAÇÃO DE MODULAÇÃO	$< \Delta f_m$
RESPOSTA DE ÁUDIO-FREQUÊNCIA	Conforme figura 33
DISTORÇÃO HARMÔNICA DE ÁUDIO-FREQUÊNCIA	$< 10\%$
ZUMBIDO E RUÍDO DA PORTADORA	40 dB
ATENUAÇÃO DE SINAIS ESPÚRIOS	40 dB (P < 25W)
	60 dB (P > 25W)
ESTABILIDADE EM FREQUÊNCIA	$\pm 0,002\%$ (HF)
	$\pm 0,0005\%$ (VHF)
	$\pm 0,0001\%$ (UHF)

APÊNDICE AMODULAÇÃO ANGULARA.1 - Modulação em Fase

Na modulação em fase, o valor instantâneo do ângulo de fase da portadora varia em função da amplitude do sinal modulador.

A expressão da portadora modulada em fase por um sinal senoidal é dada por:

$$e(t) = A_p \text{ sen}(\omega_p t + \phi + \Delta\phi \cos \omega_m t) \quad (\text{A.1})$$

onde

- $e(t)$... valor instantâneo da portadora
- A_p ... amplitude da portadora
- ω_p ... frequência angular da portadora
- ϕ ... ângulo de fase da portadora
- $\Delta\phi$... desvio de fase (máxima variação de fase causada pela modulação)
- ω_m ... frequência angular de modulação

O espectro de modulação pode ser obtido, expandindo-se a expressão (A.1), isto é:

$$e(t) = A_p [\text{sen}(\omega_p t + \phi) \cos(\Delta\phi \cos \omega_m t) + \text{sen}(\Delta\phi \cos \omega_m t) \cos(\omega_p t + \phi)] \quad (\text{A.2})$$

mas,

$$\cos(\Delta\phi \cos \omega_m t) = J_0(\Delta\phi) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(\Delta\phi) \cos(2n\omega_m t) \quad \dots (A.3)$$

$$\sin(\Delta\phi \cos \omega_m t) = 2 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(\Delta\phi) \cos[(2n+1)\omega_m t] \quad \dots (A.4)$$

onde $J_n(\Delta\phi)$ é função de Bessel de primeira espécie, grau n e argumento $\Delta\phi$.

Substituindo (A.3) e (A.4) em (A.2) e levando em consideração que

$$2\sin a \cos b = \sin(a+b) + \sin(a-b)$$

$$2\cos a \cos b = \cos(a+b) + \cos(a-b)$$

resulta:

$$\begin{aligned} e(t) = A_p \{ & J_0(\Delta\phi) \sin(\omega_p t + \phi) + J_1(\Delta\phi) \cos[(\omega_p + \omega_m)t + \phi] + \\ & + J_1(\Delta\phi) \cos[(\omega_p - \omega_m)t + \phi] - J_2(\Delta\phi) \sin[(\omega_p + 2\omega_m)t + \phi] + \\ & - J_2(\Delta\phi) \sin[(\omega_p - 2\omega_m)t + \phi] - J_3(\Delta\phi) \cos[(\omega_p + 3\omega_m)t + \phi] + \\ & - J_3(\Delta\phi) \cos[(\omega_p - 3\omega_m)t + \phi] + J_4(\Delta\phi) \sin[(\omega_p + 4\omega_m)t + \phi] + \\ & + J_4(\Delta\phi) \sin[(\omega_p - 4\omega_m)t + \phi] + \dots \} \quad (A.5) \end{aligned}$$

A.2 - Modulação em Freqüência

No caso de modulação em freqüência, é o valor instantâneo da freqüência da portadora que varia em função da amplitude do sinal modulado.

Quando modulada em freqüência por um sinal senoidal, a portadora apresenta a seguinte expressão:

$$e(t) = A_p \text{ sen}(\omega_p t + \theta + \frac{\Delta f}{f_m} \text{ sen } \omega_m t) \quad (\text{A.6})$$

onde θ é o ângulo de fase da portadora, f_m é a máxima freqüência do sinal modulator e Δf , chamado desvio de freqüência, corresponde à máxima diferença de freqüência entre a portadora modulada e a portadora não modulada.

A relação $\frac{\Delta f}{f_m} = m$ é denominada índice de modulação.

O espectro para a portadora modulada em freqüência pode ser obtido de maneira análoga ao desenvolvimento feito para a portadora modulada em fase, resultando:

$$\begin{aligned} e(t) = A_p \{ & J_0(m) \text{ sen}(\omega_p t + \theta) + J_1(m) \text{ sen}[(\omega_p + \omega_m)t + \theta] + \\ & - J_1(m) \text{ sen}[(\omega_p - \omega_m)t + \theta] + J_2(m) \text{ sen}[(\omega_p + 2\omega_m)t + \theta] + \\ & - J_2(m) \text{ sen}[(\omega_p - 2\omega_m)t + \theta] + J_3(m) \text{ sen}[(\omega_p + 3\omega_m)t + \theta] + \\ & - J_3(m) \text{ sen}[(\omega_p - 3\omega_m)t + \theta] + J_4(m) \text{ sen}[(\omega_p + 4\omega_m)t + \theta] + \\ & - J_4(m) \text{ sen}[(\omega_p - 4\omega_m)t + \theta] + \dots \} \quad (\text{A.7}) \end{aligned}$$

A.3 - Conclusões

a) Observa-se das expressões (A.5) e (A.7) que a portadora modulada, tanto em fase como em frequência, apresenta espectro com uma infinidade de componentes espaçadas umas das outras de ω_m e com amplitudes determinadas pelas funções de Bessel de primeira espécie.

A figura 38 mostra a relação entre a amplitude da portadora e as amplitudes de algumas faixas laterais em função do índice de modulação.

b) Nota-se da figura 38 que a portadora (função de $J_0(m)$) e as faixas laterais (funções de $J_n(m)$) se anulam para valores bem caracterizados de m .

A figura 39 destaca a função $J_0(m)$, permitindo visualizar claramente alguns dos nulos da portadora.

A Tabela 9 mostra os valores aproximados de m e correspondentes nulos da portadora.

$A_p J_n m$

A_p

$n=0$

$n=1$

$0.5A_p$

$n=2$

$n=3$

$n=4$

0

5

10

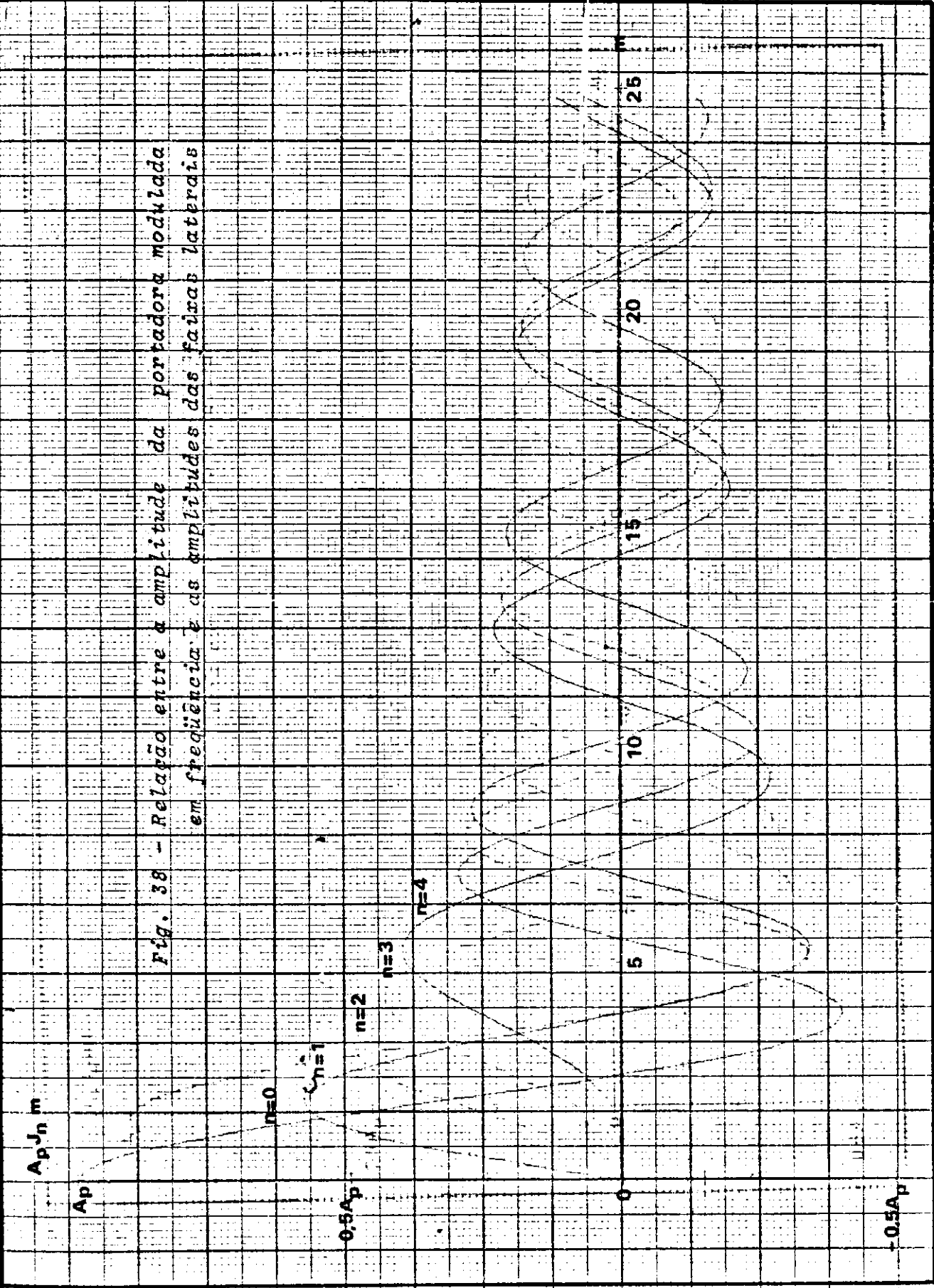
15

20

25

$-0.5A_p$

Fig. 38 - Relação entre a amplitude da portadora modulada em frequência e as amplitudes das faixas laterais



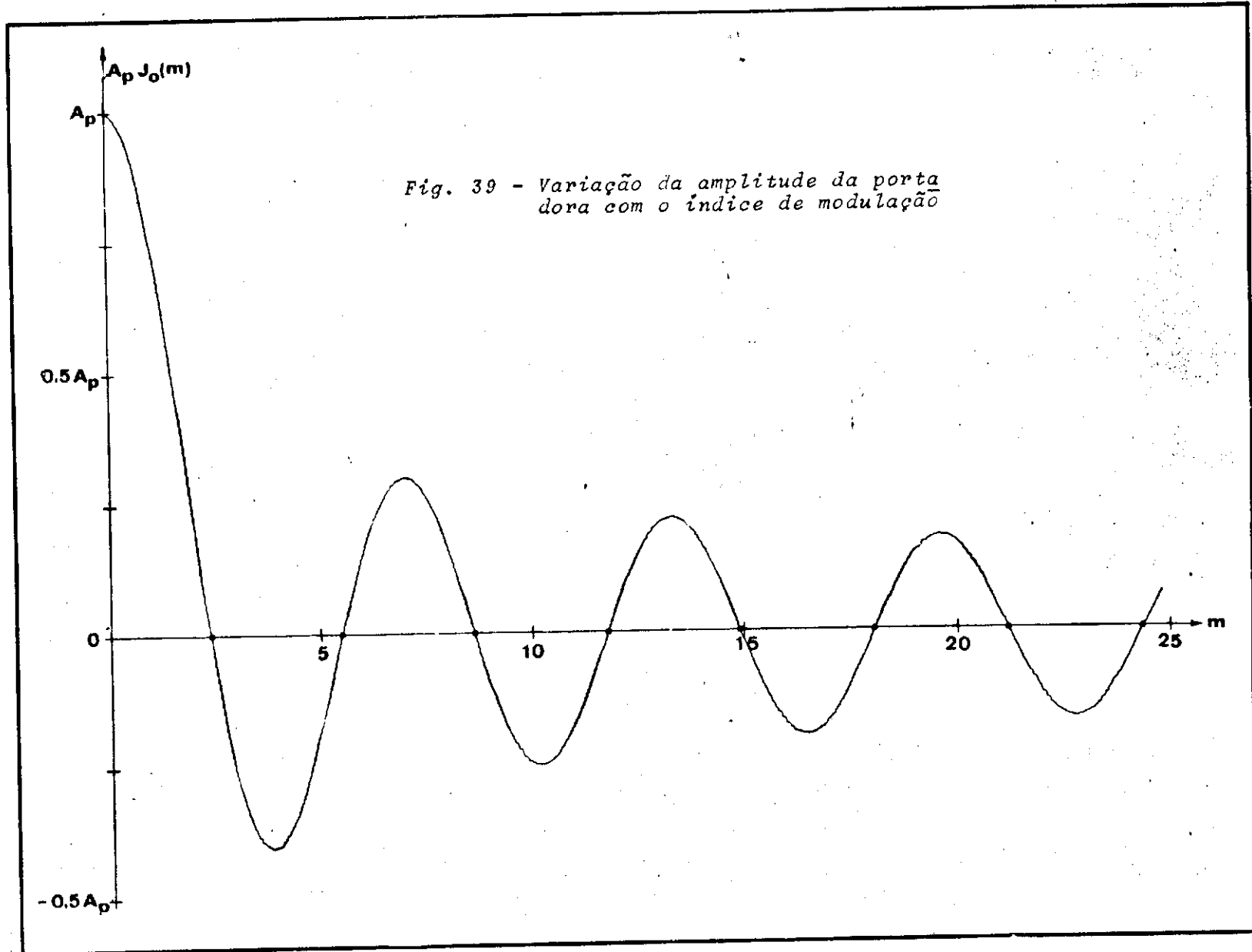


Fig. 39 - Variação da amplitude da portadora com o índice de modulação

Tabela 9 — Nulos da portadora e correspondentes índices de modulação

NULOS DA PORTADORA	ÍNDICE DE MODULAÇÃO m
PRIMEIRO	2,4048
SEGUNDO	5,5201
TERCEIRO	8,6537
QUARTO	11,7915
QUINTO	14,9309
SEXTO	18,0711
SÉTIMO	21,2116

APENDICE BMEDICÃO DO DESVIO DE FREQUÊNCIA COM ANALISADOR
DE ESPECTRO

Um gerador de sinais ou um transmissor podem ser ajustados para um valor preciso de desvio de frequência, usando-se um analisador de espectro. Determina-se um dos zeros da portadora e seleciona-se a frequência moduladora conveniente. Sendo esta estabelecida com precisão num freqüencímetro e sendo conhecido com precisão o índice de modulação correspondente a um zero da portadora, é igualmente precisa a determinação do desvio de frequência.

A figura 40 ilustra a montagem que utiliza este método para a calibração de um gerador de sinais FM.

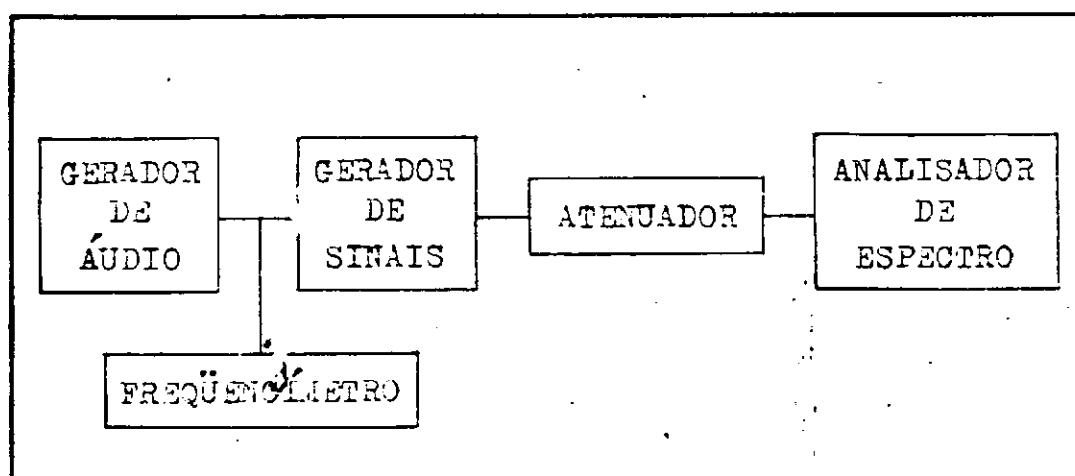


Fig. 40 - Calibração de indicador de desvio de um gerador de sinais FM, usando analisador de espectro

Inicialmente, o gerador de sinais é posto a operar sem modulação (gerador de áudio desconectado). Sintoniza-se, então, o analisador de espectro na frequência da portadora, produzindo-se no centro da tela do analisador o espectro de frequência da portadora. Ajustam-se convenientemente o atenuador e os controles de FI e dispersão do analisador, de modo a se ter boa resolução da portadora e das faixas laterais.

A seguir, conecta-se o gerador de áudio ao gerador de FM, e sua frequência é ajustada precisamente no freqüencímetro para, por exemplo, 4158 Hz. Esta frequência, multiplicada pelo índice de modulação 2,4048, implica num desvio de frequência da portadora de 10 KHz, que, à guisa de exemplo, corresponde ao fundo de escala do indicador de desvio do gerador de FM que se quer calibrar.

Aumenta-se, então, lentamente, a partir de zero, a amplitude do gerador de áudio (sinal modulador) até que se anule a amplitude da portadora observada no analisador de espectro. Nestas condições (primeiro nulo da portadora), m é igual a 2,4048 e o desvio de frequência do gerador de FM é 10 KHz.

Observe-se que, se se continuar aumentando a amplitude do sinal modulador, a amplitude da portadora crescerá de novo (*), chegando a um máximo e, a seguir, decrescendo, até anular-se pela segunda vez. Neste ponto, o índice de modulação será 5,5201 e o desvio de frequência valerá 22,95 KHz. Para se obter os mesmos 10 KHz de desvio nessas condições, deve-se ajustar a frequência moduladora para 1812 Hz.

(*) O analisador de espectro traça as amplitudes apenas em valor absoluto.

A Tabela 10 mostra as frequências moduladoras que devem ser usadas para se obter alguns desvios de frequência mais comuns.

Observação

Neste método de medição de desvio, é essencial que se estabeleça com precisão o nulo da portadora. É, portanto, importante que o analisador de espectro tenha uma ampla excursão dinâmica, de modo que o ganho de FI possa ser aumentado à medida que a portadora se aproxima do nulo, para se ter máxima sensibilidade, sem que as faixas laterais de maior amplitude saturem o estágio de FI.

Tabela 10 — Frequências de modulação (em HERTZ) correspondentes aos desvios em que a amplitude da portadora se anula

ZERO DA PORTADORA	Δf (KHz) m	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	100	150	250	300
		PRIMEIRO	2,4048	2079	4158	6238	8317	10396	12475	14554	16633	18713	20792	22871	24950	27029	29108	31188	41583	62375	103959	124750
SEGUNDO	5,5201	906	1812	2717	3623	4529	5435	6340	7246	8152	9058	9964	10869	11775	12681	13587	18116	27173	45289	54347
TERCEIRO	8,6537	578	1156	1733	2311	2889	3467	4045	4622	5200	5778	6356	6933	7511	8089	8667	11556	17334	28889	34667
QUARTO	11,7915	424	848	1272	1696	2120	2544	2968	3392	3816	4240	4664	5088	5512	5936	6360	8481	12721	21202	25442
QUINTO	14,9309	335	670	1005	1340	1674	2009	2344	2679	3014	3349	3684	4019	4353	4688	5023	6698	10046	16744	20093
SEXTO	18,0711	277	553	830	1107	1383	1660	1937	2213	2490	2767	3044	3320	3597	3874	4150	5534	8301	13834	16601
SÉTIMO	21,2116	236	471	707	943	1179	1414	1650	1886	2121	2357	2593	2829	3064	3300	3536	4714	7072	11786	14143

APÊNDICE C

MEDIDOR DE DESVIO DE FREQUÊNCIA

C.1 - Funcionamento do Medidor de Desvio

O princípio de funcionamento de um medidor de desvio é basicamente o de um receptor super-heterodino. O sinal de RF a ser analisado é convertido num sinal de frequência intermediária (FI), que, depois de amplificado, passa através de um limitador, para eliminar uma possível modulação de amplitude do sinal de FI. Em seguida, é levado a um discriminador, cuja saída é aplicada a um filtro passa-baixas (com a finalidade de eliminar quaisquer componentes de FI), resultando apenas o sinal demodulado, cuja amplitude é diretamente proporcional ao desvio de frequência do sinal de RF. Esse sinal demodulado é amplificado e, a seguir, detetado por um voltímetro de pico calibrado diretamente em termos de desvio de frequência.

C.2 - Medição de Pequenos Desvios de Frequência

Há medidores de desvio que, além de sua escala calibrada em termos de desvio, apresentam também terminais de saída que dão o sinal demodulado amplificado, podendo ser usado com um voltímetro externo sensível, que, devidamente calibrado, permite medir desvios da ordem de dezenas de hertz (por exemplo, desvio residual de FM de transmissores).

A calibração do voltímetro externo (que poderá ser o medidor de ruído e distorção) em termos de desvio de frequência é feita da seguinte maneira: à entrada de RF do medidor de desvio se aplica um sinal de FM com desvio de frequência correspondente ao fundo de escala mais sensível do medidor; o sinal demodulado fornecido por este é conectado ao voltímetro através de um potenciômetro, cuja finalidade é ajustar a indicação do voltímetro para uma leitura conveniente. (V. figura 41).

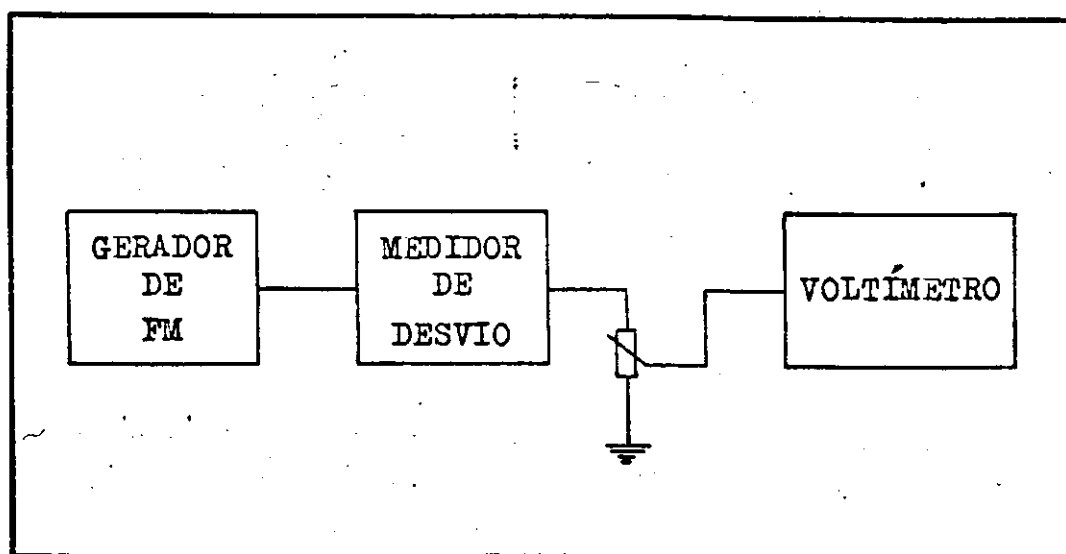


Fig. 41 - Calibração de um voltímetro em termos de desvio.

Feita a calibração, será possível, usando-se as escalas mais sensíveis do voltímetro, medir desvios de frequência muito pequenos.

APÊNDICE D

ELEMENTOS DOS CIRCUITOS DE ACOPLAMENTO EM
FUNÇÃO DA IMPEDÂNCIA NOMINAL DE ANTENA
É IMPEDÂNCIA INTERNA NOMINAL DO GERADOR

D.1 - Caso em que $R_a < R_i$

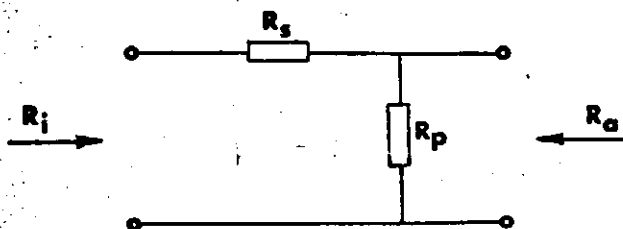


Fig. 42 - Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a < R_i$

A impedância nominal de antena, R_a , vale:

$$R_a = R_p \frac{R_i + R_s}{R_i + R_s + R_p} \quad (D.1)$$

A resistência vista pela entrada do circuito de acoplamento deve ser R_i , ou seja:

$$R_i = R_s + \frac{R_p R_a}{R_p + R_a} \quad (D.2)$$

De (D.1), tira-se o valor de R_p :

$$R_p = \frac{R_a (R_i + R_s)}{R_i + R_s - R_a} \quad (D.3)$$

Substituindo (D.3) em (D.2) e simplificando, resulta:

$$R_s^2 = R_i^2 - R_i R_a \quad (D.4)$$

A expressão (D.4) mostra claramente que, para um perfeito casamento de impedâncias, o circuito da figura 42 é válido para $R_a < R_i$.

Finalmente, de (D.4), obtêm-se:

$$R_s = R_i \sqrt{1 - (R_a/R_i)} \quad (D.5)$$

Substituindo (D.5) em (D.3), chega-se facilmente a:

$$R_p = R_a / \sqrt{1 - (R_a/R_i)} \quad (D.6)$$

D.2 - Caso em que $R_a > R_i$

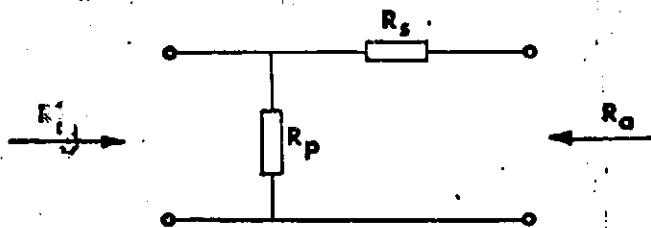


Fig. 43 - Circuito de acoplamento gerador/receptor; $R_a > R_i$

No presente caso:

$$R_a = R_s + \frac{R_i R_p}{R_i + R_p} \quad (D.7)$$

$$R_i = \frac{R_p (R_s + R_a)}{R_p + R_s + R_a} \quad (D.8)$$

Com procedimento análogo ao feito no item D.1, determinam-se:

$$R_s = R_a \sqrt{1 - (R_i/R_a)} \quad (D.9)$$

$$R_p = R_i / \sqrt{1 - (R_i/R_a)} \quad (D.10)$$

CDC Radio Standard Specification 121: "Mobile Stations FM or PM Radiotelephone Transceivers Operating in Certain VHF/UHF Bands in the Frequency Range 27.23 MHz to 470 MHz with RF Power Output Not Exceeding 10 Watts", April 1971.

CDC Radio Standard Specification 136: "Land and Mobile Station Radiotelephone Transmitters and Receivers Operating in the 27.000 - 27.230 MHz Band with 10 KHz Channel Spacing and RF Power Output of Not More than 3.0 Watts", January 1969.

CDC Radio Standard Specification 139: "Land and Mobile Stations FM or PM Radiotelephone Transmitters and Receivers Operating in the 27.28 MHz to 50 MHz Band with 20 KHz Channel Spacing", November 1971.

CDC Radio Standard Specification 160: "Invironmental for Electronic Equipment", November 1964.

CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) Publication 4: "Measuring Set Specification for the Frequency Range 300 MHz to 1000 MHz", Geneva, 1967.

EIA (Electronic Industries Association) Standard RS-152-A: "Minimum Standards for Land-Mobile Communications FM or PM Transmitters 25 - 470 MHz", October 1959.

EIA Standard RS-152-B (Revision of RS-152-A): "Minimum Standards for Land Mobile Communication FM or PM Transmitters, 25 - 470 MHz", February 1970.

EIA Standard RS-204: "Minimum Standards for Land-Mobile Communication FM or PM Receivers", January 1958.

EIA Standard RS-237: "Minimum Standard for Land-Mobile Communication Systems Using FM or PM in the 25 - 470 MHz Frequency Spectrum", August 1960.

EIA Standard RS-316: "Minimum Standards for Portable/ Personal Land Mobile Communications FM or PM Equipment, 25 - 470 MHz", July 1965.

HAMSHER, D.H.: "Communication System Engineering Handbook", chapter 17, McGraw-Hill, Inc., 1967.

HANSEN, O.: "Intermodulation in VHF Receivers and Signal Generators", Marconi Instrumentation, vol. 11, No. 2, August 1967.

HENNEY, K.: "Radio Engineering Handbook", chapters 18 & 19, McGraw-Hill, Inc., 1959.

HEWLETT PACKARD Application Note 63: "Spectrum Analysis", August 1968.

HEWLETT PACKARD Application Note 71: "Advances in RF Measurements Using Modern Signal Generators 50 KHz - 480 MHz", January 1966.

HEWLETT PACKARD Application Note 150-1: "Spectrum Analysis — Amplitude and Frequency Modulation", November 1971.

IEC (International Electrotechnical Commission) Publication 91: "Recommended Methods of Measurement on Receivers for Frequency-Modulation Broadcast Transmissions", Geneva, 1958.

IEC Publication 244-1: "Methods of Measurement for Radio Transmitters — General Conditions of Measurement, Frequency, Output Power and Power Consumption", Geneva, 1968.

IEC Publication 244-2: "Methods of Measurement for Radio Transmitters — Bandwidth, Out-of-Band Power and Power of Non-Essential Oscillations", Geneva, 1969.

IEC Publication 315-1: "General Measuring Methods Applying to Several Types of Receivers", Geneva, 1970.

IEC Publication 315-5: "Specialized Radio-Frequency Measurements — Measurement on Frequency-Modulated Receivers of the Response Impulsive Interference", Geneva, 1971.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Standard No. 184: "Test Procedure for Frequency-Modulated Mobile Communications Receivers", April 1969.

IRE Standard 17.S1: "Standards on Receivers: Definition of Terms", Proc. IRE, December 1952.

KENNEDY, R.A.: "Measuring Narrow F.M. Deviation", Marconi Instrumentation, vol. 12, No. 3, September 1969.

KLIER, H.: "Servicing of the Police Force's Radiotelephone Equipment", News From Rohde & Schwarz, vol. 12, No. 52, 1972.

LANDEE, DAVIS & ALBRECHT: "Electronic Designers' Handbook", chapters 5 & 7, McGraw-Hill, Inc., 1957.

MARCONI INSTRUMENTS LIMITED CATALOG: "Electronic Measuring Equipment", The Cavendish Press Limited Leicester, August 1970.

MPT (Ministry of Posts and Telecommunications) Specification No. 101: "Private Land Mobile Radio Services Performance Specifications for Angle Modulated UHF Transmitters and Receivers Using 25 KHz Carrier Frequency Separation and Maximum Deviation up to ± 5 KHz in the 450 - 470 MHz Band", London 1969.

MPT Specification No. 102: "Private Land Mobile Radio Services Performances Specification for Low Power Angle Modulated UHF Portable Transmitters and Receivers Using 25 KHz Carrier Frequency Separation and Maximum Deviation up to ± 5 KHz in the 450 - 470 MHz Band", London, 1969.

MPT Specification W6771: "Private Land Mobile Radio Services Performance Specifications for Angle Modulated VHF Transmitters and Receivers Using 12.5 KHz Carrier Frequency Separation and Maximum Deviation up to ± 2.5 KHz in the 80 MHz, 100 MHz, 141 MHz, and 170 MHz Bands", London, 1972.

MPT Specification W6881: "Private Metric (VHF) Mobile Radio Telephone Services - Specification for Low Power Angle Modulated Transmitters - Receivers for 12.5 KHz Carrier Frequency Separation and Maximum Deviation up to ± 2.5 KHz in the 80 MHz and 170 MHz Bands", London, 1968.

NTC (Norma Técnica do CONTEL) Nº 17: "Norma Técnica para Transmissores a Serem Usados nas Faixas de 25-50/148-174/450-470 MHz em Radiotelefonia com Modulação de Frequência"

OLIVER, B.M. & CAGE, J.M.: "Electronic Measurements and Instrumentation", chapter 14, McGraw-Hill, Inc., 1971.

PETTIT, J.M.: "Specification and Measurement of Receiver Sensitivity at the Higher Frequencies", Proc. IRE, March 1947.

ROHDE & SCHWARZ Application Note: "Test Assembly for Radiotelephone Systems"

ROHDE & SCHWARZ Data Sheet 462020: "Frequency Deviation Meter, 20 to 600 MHz".

SCHULTZ, C.: "Spectrum Compression and Its Problems", IRE Transactions, vol. PGVC-6, July 1956.

SHEPHERD, N.H.: "A Report on Interference Caused by Intermodulation Products Generated in or Near Land Mobile Transmitters", IRE Transactions, vol. PGVC-13, September 1959.

TEKTRONIX Instruction Manual of the Spectrum Analyzer type 1L10, 1965.

THOMAS, H.E. & CLARKE, C.A.: "Handbook of Electronic Instruments and Measurement Techniques", chapters 12, 13, and 14, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1967.

WILLIS, D.R.: "Testing F.M. Mobile Radio Transceivers", Marconi Instrumentation, vol. 12, No. 8B, 1970.

34 + 98 015