

## 第9章 FM受信機, AM(A3E)受信機, SSB(J3E)受信機の構成や特性と感度測定法

### 受信感度の測定Ⅱ—アナログ無線機

藤田 昇  
Noboru Fujita

#### 9.1 FM受信機の感度測定

##### ■ FM方式の特徴

周波数変調方式は,

- 高いS/Nが得られる(周波数偏移が大きいとき)
- 変調が容易
- 電力増幅回路は非直線性で良いため高効率
- 振幅性雑音に強い
- 受信機にAGCAutomatic Gain Controlが不要でリミッタ・アンプ(非直線アンプ)が使える
- 受信レベル変動に強い

など多くの特徴があり, VHF帯(30~300 MHz)やUHF帯(300~3000 MHz)の移動通信に広く使われています。最近では周波数利用効率がよく, データ伝送にも便利なデジタル通信方式の普及が進んでいますが, 当面は併用されていくと思われます。

図9.1にFM受信機の代表的なブロック図を示します。大きな特徴は, 中間周波増幅器の利得が非常に大きく, 受信入力がないときも受信機内部雑音だけで飽和していることと, 検波回路が周波数弁別器discriminator(ディスクリミネータ)と呼ばれる周波数の変化に対応して電圧を出力する回路になっていることです。

##### ■ FM受信機の特徴

###### ● 受信機の入出力特性

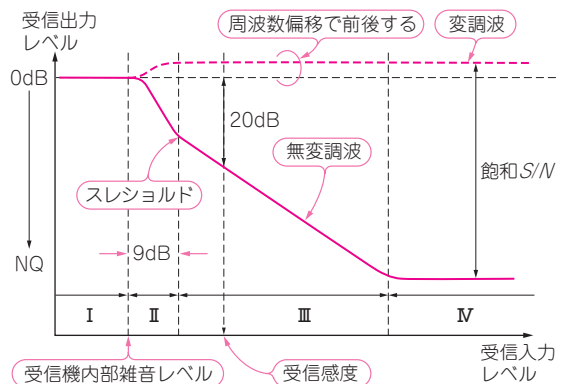
FM受信機の入出力特性は図9.2のようになります。入力信号がないときは一定レベルの雑音を出力し, 無変調波を入力したときは入力大きさに反比例して雑

音出力が低下していきます。これを「雑音抑圧」(Noise Quieting)といいます。

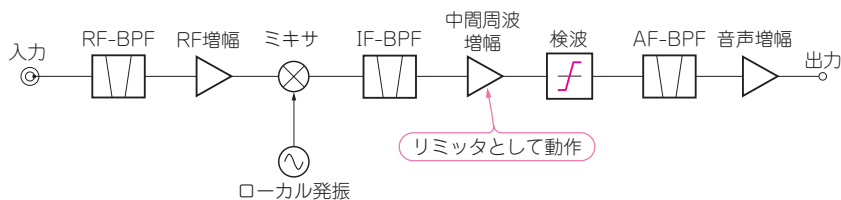
変調波を入力すると, 入力信号がないときの雑音出力と前後するレベルの信号出力が得られ, 入力信号の大きさに比例してS/Nが向上します。無信号時の雑音レベルと信号レベルの差は, 最大周波数偏移(≒IF-BPFの帯域幅の1/2)に対する信号の上限周波数によって決まります。通話用FM受信機の上限周波数は3 kHzになりますが, 周波数偏移±5 kHzのときは信号レベルの方が1~2 dB程度大きくなり, 周波数偏移±2.5 kHzのときは0.5~1 dB程度小さくなります。

無変調信号入力時の感度抑圧カーブは, 四つの領域に分けられます。

領域Ⅰは受信入力がない, または受信機内部雑音より十分小さい領域で, 受信出力は一定レベルの雑音だけになります。



〈図9.2〉 FM受信機の入出力特性



〈図9.1〉 代表的なFM受信機の構成

領域Ⅱは受信入力を受信機内部雑音より大きくなったときからスレシヨルド(スレシホールド)点までを指します。領域Ⅱの受信入力の変化範囲は約9 dBになります。領域Ⅱでは受信入力の増加(dB)に対して雑音量(dB)は約1:2の率で急激に低下します。

領域Ⅲはスレシヨルド点から雑音抑圧が飽和する点までを指します。領域Ⅲでは受信入力の増加に比例して雑音抑圧量が大きくなります。

領域Ⅳは雑音抑圧量が飽和する点以上を指します。理論的には領域Ⅳはないのですが、受信機の低周波増幅段の残留雑音や感度測定に使用するSG(Signal Generator)の残留雑音の影響で飽和点が存在します。音声出力は一定なので、受信入力を大きくしても受信出力のS/Nはこれ以上良くなりません。受信機の飽和S/Nを測定しようとするときは、当然ながらSGの残留雑音を受信機の残留雑音レベルより十分小さくする必要があります。通話用FM受信機に要求される飽和S/Nは40~50 dB程度なので、ほとんどの市販SGは要求仕様を満足しますが、中には残留雑音が多いものがあったり、測定環境周辺の雑音やグラウンドのつなぎ方の影響で、要求仕様を満足しない場合もあるので注意が必要です。

● S/N

領域ⅢのS/Nは次式で近似できます。

$$\frac{S}{N} = 3 \times \left( \frac{\Delta f}{f_h} \right)^2 \left( \frac{P_c}{P_n} \right) \left( \frac{B}{2f_h} \right) \dots\dots\dots (9.1)$$

ここで、 $\Delta f$ : 周波数偏移 [Hz],  $f_h$ : 最高変調周波数 [Hz],  $P_c$ : 搬送波電力 [W],  $P_n$ : 雑音電力 [W],  $B$ : 受信帯域幅 [Hz] (IF-BPFの通過帯域幅とほぼ等しい)

雑音電力 $P_n$ は受信機雑音または受信機内部雑音と呼ばれ、次式で計算できます。

$$P_n = kTBF \dots\dots\dots (9.2)$$

ここで、 $k$ : ボルツマン定数( $1.38 \times 10^{-23}$ ) [J/K],  $T$ : 絶対温度 [K] ( $0 \text{ K} \equiv -273.16 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $B$ : 受信帯域幅 [Hz],  $F$ : 雑音指数

● スレシヨルド(スレシホールド)

さて、受信入力を十分大きな値から下げていくときを考えると、周波数弁別器の入力側において搬送波のピーク値より雑音のピーク値が大きくなる点から急激に復調出力の雑音が増加し始めます。この点を「スレシヨルド」または「S/N改善限界値」といい、FM受信機特有の現象です。ランダム雑音のクレスト・ファクタ(ピーク値と実効値の比)は約12 dBであり、サイン波のクレスト・ファクタは約3 dBなので、スレシヨルド点は受信機内部雑音(=  $kTBF$ )より約9 dB大きい点になります。

● スケルチ

スケルチ(squelch)とは、無信号時にスピーカから

出力される雑音や交信相手以外の音声を遮断し、無音状態にする機能のことです。FM受信機は高周波入力がないときは最大音量で低周波雑音(ザーという音)を出力するので、スケルチ機能が必須といえます。

多くの場合は、雑音抑圧特性を利用した「雑音スケルチ」が使われます。これは図9.3のように、周波数弁別器の出力から高域(20~50 kHz程度)の雑音成分を取り出し、この雑音成分があるときは音声回路を遮断する方式です。20~50 kHzの帯域はIF-BPFの通過帯域幅より広いので、雑音成分は低いレベルになってしまいますが、より低い周波数の雑音成分を選択すると、音声信号やその歪み成分によってスケルチが閉じてしまう現象が生じやすくなります。

雑音スケルチ以外に、受信電力(キャリア電力)を測定し、一定以上の受信電力があるときだけ音声回路を接続する「キャリア・スケルチ」(または電界スケルチ)方式、送信側で音声通話をじゃましないような100 Hz前後の信号(トーン)を送信し、受信側ではそのトーンを検知したときだけ音声回路を接続する「トーン・スケルチ」などが使われています。

なお、FM放送用受信機やチューナではスケルチといわず、ミュート(mute)と表現することが多いです。

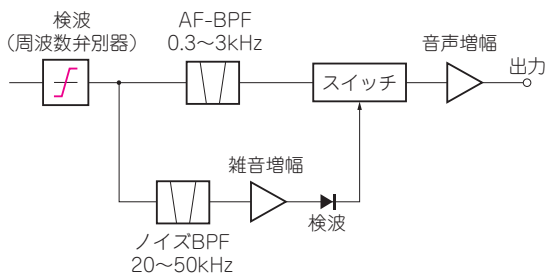
■ NQ法による感度測定

アナログ回線の通信品質の評価基準はS/Nが一般的ですが、通話用のFM受信機の場合は雑音抑圧量とS/Nがほぼ同じ数値になるので、測定が容易なNQ(Noise Quieting)法が採用されてきました。

抑圧量の基準値は20 dBとすることが多く、その場合は「20 dB NQ法」と呼びます。20 dB NQはS/N20 dBとおおむね等価であり、S/Nが20 dBであれば通話するのに必要十分という意味です。

● 測定系統

NQ法の測定系統を図9.4に示します。SGの出力は同軸ケーブルで供試機のアンテナ端子に接続します。受信出力はスピーカ端子またはイヤホン・ジャックから取り出します。内蔵スピーカで外部に出力端子がない場合はスピーカ両端の電圧を測ることになります。スピーカのインピーダンスは周波数特性を持つので、



〈図9.3〉 雑音スケルチの構成