

< FM放送用受信機 (その3) >

回路の働きの概況の説明を続けます。

代表的なFM放送受信機の回路構成例図1を再掲します。

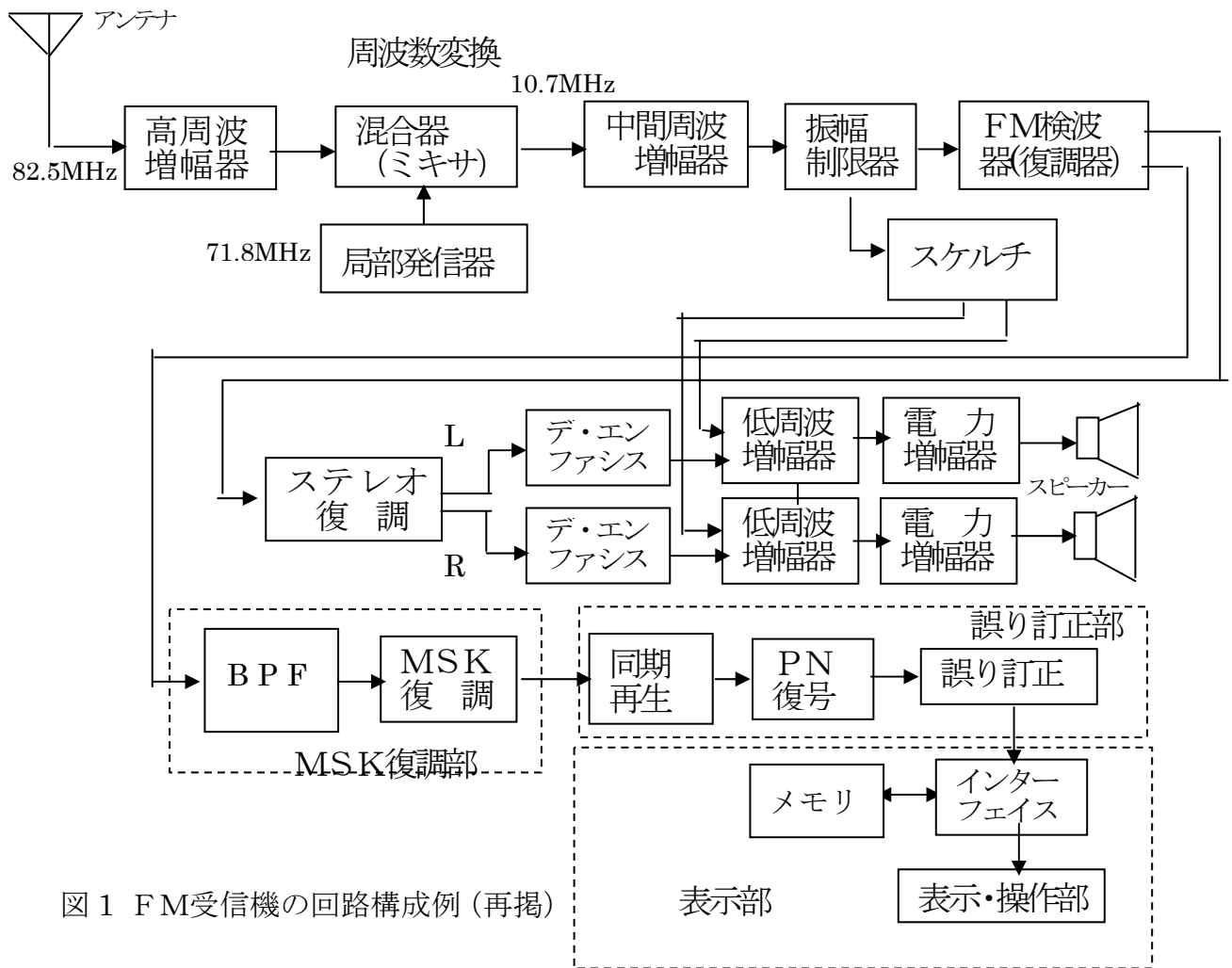


図1 FM受信機の回路構成例 (再掲)

☆ スケルチ回路

図1にスケルチ回路とその周辺の構成を示します。この図の各回路についての動作を説明します。

[雑音増幅器]

雑音増幅器は、周波数弁別器の出力からノイズ成分のみを取り出して増幅します。FMのノイズは、「ザアーザアー」という非常にランダムで

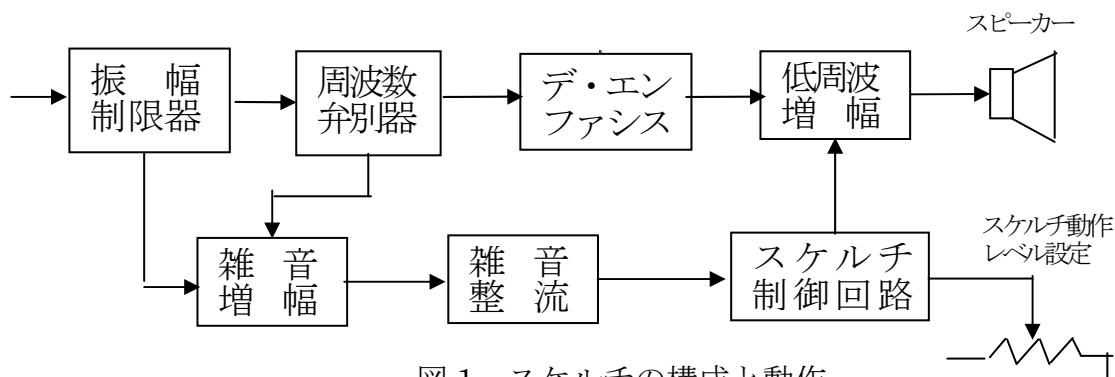


図1 スケルチの構成と動作

高周波成分を多く含んでいます。このため音声との分離は比較的簡単に行えます。雑音増幅器の入力は、周波数弁別器の出力と振幅制限器の制限レベルを示す直流電圧です。振幅制限器からも信号を得る目的は、アンテナで受信したレベルが低い場合は、振幅制限器が動作しないで増幅器動作となるため、その時の雑音信号をも取り込んでスケルチ回路を動作させるためです。

[雑音整流器]

雑音信号を整流するとはどういうことかと思ひますが、これは電気機器の電源回路とまったく同じものです。ノイズという交流信号を整流して、直流電圧に変換する働きをします。ここで変換された直流信号のレベルは、ノイズの大きさを表しているため、スケルチ回路動作のしきい値として利用します。

[制御回路]

回路の中身は比較器（コンパレータ）で、スピーカーから大音響を発生する雑音が出ないように低周波増幅器の動作を止めるかどうかを判断する回路です。比較する信号は、雑音を整流した直流電圧のレベルと手動等で設定してあるスケルチレベルです。ノイズレベルがスケルチレベルより大きければ低周波増幅回路の動作を止めます。ノイズレベルが小さければ正常な信号がきていると判断して低周波増幅回路を動作させます。

☆ ステレオ復調

FMステレオ放送は、モノラル放送との互換性を保つため、通常の音声信号の周波数帯域（50Hz～15kHz）には左チャンネルと右チャンネルの信号を加算した $L+R$ 信号を変調します。左チャンネルと右チャンネルの差信号である $L-R$ 信号は、38kHz を中心とする 30kHz（23～53kHz）の周波数帯域に 38kHz の副搬送波を抑圧した DSB（両側波帯）信号として加えています。また、この抑圧された 38kHz の副搬送波を正確に受信機側で復元するために、その $1/2$ の 19kHz の信号をパイロット信号として送出しています。なお、これらの $L+R$ 信号、 $L-R$ 信号ならびにパイロット信号を合成・加算した信号をコンポジット信号と呼んでいます。実際には、これよりさらに高い 76kHz の周波数帯域に FM 音声多重用のデータ放送もあります。

図 2 に FM ステレオ放送の復調のため回路例を示します。

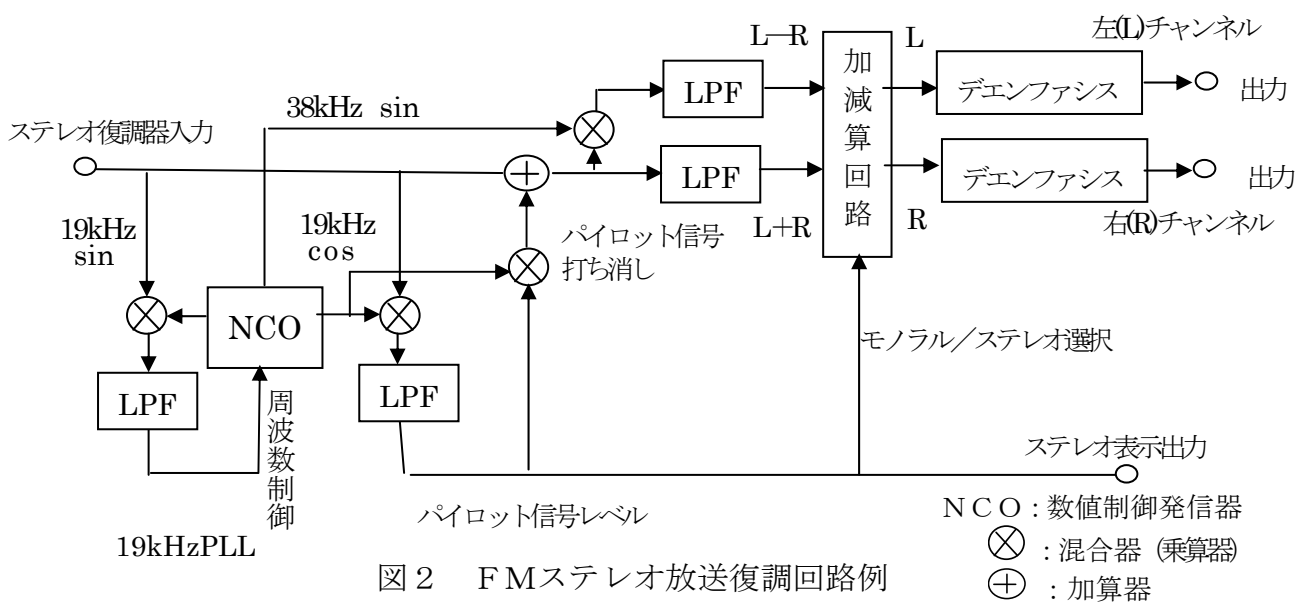


図 2 FMステレオ放送復調回路例

FMステレオ放送の復調器は、19kHz のパイロット信号から 38kHz の正確な副搬送波を再生する回路、副搬送波抑圧された DSB（両側波帯）信号に再生した 38kHz の副搬送波を加えて $L-R$ の差信号を生成する回路、主搬送波から $L+R$ の和信号を生成する回路ならびに $L+R$ の和信号と $L-R$ の差信号とから L （左）信号と R （右）信号を作り出す回路から構成されています。

ステレオ復調器には、送信側の 38kHz の副搬送波を復元するための発信器としてこの回路では NCO（数値制御発信器）を用意し、19kHz の位相が 180° 異なる sin 信号と cos 信号ならびに 38kHz の sin 信号が出力として取り出せるようにします。sin 信号とは、省令で定めるパイロット信号の位相が 0° であり、副搬送波は、パイロット信号が時間軸と交わるとき、同時に正傾斜で時間軸と交わるものであることと規定されている信号を指します。

この NCO は、FM 復調で使用した CORDIC を利用して位相情報（角度）から sin 信号と cos 信号を生成するようにしています。38kHz の sin 信号は、三角関数の倍角の公式を用い sin 信号と cos 信号の積から生成します。

NCO の 19kHz の sin 信号とコンポジット信号を乗算し、コンポジット信号に含まれる 19kHz のパイロット信号と位相比較を行ないます。乗算器の出力には、NCO の 19kHz の sin 信号と 19kHz のパイロット信号の位相差に対応する情報が含まれています。そのため、ループフィルタによって制御に必要でない成分は除去し、積分を行なって NCO の周波数制御信号を生成し PLL を構成します。

19kHz の cos 信号は、同様にコンポジット信号と乗算し、ローパスフィルタを通すことで、パイロット信号の振幅に対応する信号が得られます。そこで、この振幅情報をもとに、コンポジット信号中のパイロット信号を打ち消し、消去するための 19kHz の正弦波を生成します。こうすることにより急峻なフィルタを用意することなく不要な 19kHz パイロット信号を取り除きます。

このパイロット信号の振幅情報は、ステレオ放送であることを示すインジケータ用の信号にもなります。パイロット信号が存在しないときは、この後に続く加減算回路の動作を停止し、L-R の信号を使わないようにします。このときは、L および R のどちらのチャンネルにも L+R 信号を出力します。

パイロット信号を取り除いたコンポジット信号と先の 38kHz sin 信号（副搬送波）を乗算することで L-R 信号が復元できます。

L+R 信号と L-R 信号が復元できればこれらの信号の「和」ならびに「差」を計算することによって、Lチャンネル信号とRチャンネル信号が生成できます。

☆ デエンファシス

デエンファシスは、送信側で行ったプリエンファシスの措置に対する受信側の措置です。

FMの原理であるFM変調は、雑音に変調周波数の高域ほど強いので、復調時の高域の音ほどSN比は低下します。こうした理由で送信側で予め高域部分を強めて送り、受信側で高域部分を弱めれば、高域部分の雑音が際立つようなことを防ぐことができます。

受信側で送信側とは逆に周波数弁別器の出力の高域成分を弱める回路をデエンファシス回路といいます。

回路構成は、プリエンファシス回路が一種のハイパスフィルター（正しくは「微分器」）、デエンファシス回路がローパスフィルター（正しくは「積分器」）のようなもので、このフィルターの特性は、「時定数」という形で定められており、その1で掲示した表2 受信機の参考性能にて紹介したように50 μ sです。

☆ 低周波増幅器 電力増幅器

検波器からの出力である可聴周波数信号をスピーカーで鳴らすためには、大きなパワーが必要になります。低周波増幅器は、十分なパワーになるまで電力増幅します。

この回路には、音量調節用のボリュームにより、増幅の度合いを調整します。

また、イヤホン端子がある場合は、スピーカーより前の電力の増幅の度合いの少ない個所に分岐回路を設けイヤホン端子に接続します。

☆ FM多重受信機/MSK復調

FM多重信号は、周波数分割多重（多重信号はベースバンドの76kHz \pm

15 kHz) されているため、FM検波後 100 kHz の帯域幅をもつコンポジッ

ト信号を、まず、バンドパスフィルタ (BPF) に通すことにより、多重成分のみを抜き出します。

このバンドパスフィルタは、76 kHz を中心として-3dB 帯域幅が 19 kHz のフィルタとなっていて、帯域内での群遅延時間特性は、最大±5 μ s となっています。その後、MSK復調のリミッタ回路に出力され振幅変動成分を振幅制限にて取り除き、デジタルのMSK信号として出力します。

MSK復調器では、多重されて送られてきた「0」または「1」のデジタル信号はMSK信号を復調する方式として、車などで移動しながらでも正確なデータ受信を行える遅延検波方式という手法を採用して「1ビット遅延検波出力」と「2ビット遅延検波出力」から復調特性の向上を図っています。

☆ FM多重受信機／同期再生・PN信号・誤り訂正

MSK復調したデータ列から、どこにどのデータがあるかを判別するために、まず、BIC (4種類の16ビットのブロック識別コード) をチェックしながら、ブロックの先頭を検出しブロック同期を確立します。

BICを比較する際、BIC内の間違ったビットを指定した数 (BICの誤り許容数) まで無視することができ、受信状態が一定でない移動体受信では有効です。

つぎに、BICの決められた順序の変化点を捕らまえてフレームと呼ばれるひと塊のデータ構成の先頭を検出しフレーム同期を確立します。

移動体FM多重では、各データは288ビットで構成されるパケット (これを「ブロック」といいます。) を単位に、さらに、272ブロック分のデータで1フレームを構成しており、1フレームは78,336 (288×272) ビットとなっています。

FM多重データには、エンコード時に「0」や「1」ができるだけ連続しないでかつ平均的に現れるようにするためPN符号 (擬似ランダムノイズ) が掛けられています。受信機では、同期回路からのクロック同期信号を基準に受信データに同じPN符号を掛けて元のデータに戻します。

移動体受信用のFM多重放送には、強力な誤り訂正が必要です。DAR

Cでは、BEST符号と呼ばれる「(272,190) 短縮化差集合巡回符号」による誤り訂正を用いています。

この誤り訂正符号は1ブロック中、約11ビットの誤り訂正能力を持っています。さらに、移動体受信における誤り訂正を強化するため、ブロック（パケット）ごとの誤り訂正（横方向の訂正）とフレーム構造の縦方向の各ブロック、すなわち、ビット単位の集合ごとの誤り訂正（縦方向の訂正）がかかるようになっていて、積符号（横方向×縦方向）と呼ばれています。普通の受信状態では、横方向の誤り訂正だけで十分ですが、1ブロックあたり11ビット以上の誤りがある場合や移動受信による受信レベル変動でのバースト（時間的に連続して起こること）的なエラーが発生した場合には、積符号による誤り訂正を行う必要があります。

受信機では、1ブロックのデータを受信するごとに、直ちに正しいデータを出力することができますが、横方向の誤り訂正に失敗した場合は、内蔵していたフレームデータ用バッファメモリーに蓄えられたデータを使って、縦方向の誤り訂正を行なった後、横方向の誤り訂正を行うため、1フレームの伝送時間が約5秒遅れて正しいデータを出力することになります。

受信時には、マイコンの制御により、メモリに書き込まれたフレーム構成のデータを参照しながら誤り訂正が行われます。

☆ FM多重受信機／表示制御部・メモリ

MSK復調部で再生したFM多重信号データは、CPUインターフェイスを介してマイコンに渡されます。マイコンは受け取ったデータからサービス内容、機能などを識別し、必要な受信データをメモリから呼び出すとともに、漢字フォントROMなど周辺回路から必要情報を読み出して表示装置を駆動します。周辺回路の具体的な構成は、受信機の形態や放送サービス内容によって異なります。