FM方式による超短波放送の概要

NHK 技術研究所 高橋 良

FM方式による超短波放送（以後はFM放送という）は、1941年米国で（WSM-FM）局が開局して以来、ますます発展の傾向をたどり、現在（1958年末）各国のFM局数は第1表に示す通り30余国におよんでいる。各国がこの方式を進めた理由は、根本的にはAM方式の標準放送では混信、雑音妨害などで十分に満足できる受信状態が得られず、音質的にも限界にきていることと新規に音声放送を始めるには、割当周波数が不足しているという事実にある。

わが国でも既にNHKが東京、大阪で送信機出力1kWで、ついで東海大学がFM多重放送の実験電波を放射しており、さらにNHKが今年中に東京、大阪で10kWの実験を申請するにょんで、漸く本放送実施への気運にある。

1. FM放送機

FM放送には単一チャンネル放送と多チャンネル放送（多重放送）とあるが、この章では単一チャンネル放送機について述べる。FM放送機は一般に変調を発振器部の小電力の部分でおこない、これを通倍、増幅して空中線に送りこむ。特にAM放送機と異なる点は変調器部で通倍部、増幅部はAM放送機より若干広帯域のフィルタを使用する以外に大きな差異は少い。PMによる間接FM方式による放送機は変調器入力を変調周波数に逆比例し

た大きさにして変調を行う点が直接FM方式と異なる。

放送機としては、他のFM通信機より周波数安定度が高く、スプリアス輻射を小さくすることが重要である。FM変調方式には種々あるが、放送機には次の3方式が多く使用されている。

- (1) リアクタンス管変調方式
- (2) FMQ変調方式
- (3) セラソイド変調方式

増幅器、通倍器は被変調高周波電圧の振幅が一定でよいからC級増幅器を使用することができ、したがってエネルギーがよく、FMであるために真空管特性によりひずみを生じることがない。しかし増幅器、通倍器の同調回路の位相特性が直線的でないといひずみ発生の原因となるの

第1図 位相ひずみと帯域幅との関係

第1表
各国の局数

国名	局数
アメリカ	675
イギリス	36
西ドイツ	158
東ドイツ	28
フランス	8
イタリア	235
オーストリア	24
フィンランド	29
デンマーク	10
カナダ	31
スウェーデン	14
ユーゴスラビア	10
メキシコ	7
イスラエル	5
モロッコ	5
コロンビア	12
ブラジル	18
ノルウェー	8
パナマ	11
キューバ	13
エルサルバドル	2
ジャマイカ	
ポルトガル	
ベルギー	

筆者紹介

たか はし りよう
高橋 良

昭和19年仙台工専電気工学科卒業後、日本放送協会技術研究所に勤務。VHF, UHF中継の研究を経て、超短波放送の研究に従事し現在に至る。無線研究部主任研究員、正会員

“Some aspects VHF-FM Broadcasting” by Ryo Takahashi

で、第1図のように必要かつ十分な広さの帯域幅とする必要がある。FM放送を高忠実度放送とするために、各国ともFM放送の技術基準を標準放送より高い規格にしてある。各国の技術基準を第2表に示す。

第2図 リアクトランス管回路

第3図 $\lambda/4$ 回路を通した水晶発振子の等価回路

(1) FM 放送機に主として使用される変調器

(1) リアクトランス管変調器

第2図のように自動発振器の同調回路素子 L_0 , C_0 に並列にリアクトランス管 V_1 を接続し、 V_1 のグリッドにプレート交流電圧 e_p を適当なインピーダンス Z_1 , Z_2 で分圧して加えると V_1 の呈するプレートインピーダンス Z_r は

$$i_p = g_m \left(e_g + \frac{e_p}{\mu} \right) = g_m \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{1}{\mu} \right) e_p \quad (1)$$

$$\therefore Z_r = \frac{1}{g_m} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu} + \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)} \quad (2)$$

となり $|Z_1| \gg |Z_2|$ とインピーダンスを選ぶと

$$Z_r \approx \frac{1}{g_m} \left(\frac{1}{\frac{1}{\mu} + \frac{Z_2}{Z_1}} \right) \quad (3)$$

となり、リアクトランス管のインピーダンスは相互コンダクタンス g_m によって変化する。

$$Z_1 = R_1, Z_2 = \frac{1}{j\omega C} \text{ の場合は}$$

$$\frac{1}{Z_r} = \frac{g_m}{\mu} + \frac{g_m}{j\omega C g_f R_1} \quad (4)$$

となり、 L_0 に並列に等価インダクタンス $\frac{CR_1}{g_m}$ が加わり、自動発振器の周波数が変化する。したがって g_m を変化すれば周波数変調を行い得る。この場合の周波数変化 Δf は

第2表 各国の技術基準

国名	日本	米国	英国	デンマーク	フィンランド	イタリー	オランダ	フランス	西ドイツ
周波数帯		88~108Mc ハワイ 88~98Mc	87.5~95Mc	87.5~100Mc					
周波数間隔				200 kc					300 kc
最大周波数偏移	± 75 kc			± 75 kc					
変調周波数		50c/s~15kc sub. 20kc~75kc		最高 15kc					
プリエンファシス	50 μ s	75 μ s		50 μ s					
指定電界強度		都市 1mV 田舎 50 μ V	1mV 250 μ V	20mV 3mV 500 μ V	最低 200 μ V	5mV 1mV	1mV 250 μ V	1mV	1mV
放送機定格出力 またはE.R.P (kW)		10W, 25W 1, 3, 5, 10, 25, 55, 100 kW	2, 10, 20kW	E.R.P 10~60kW	3~10kW	E.R.P 125W60kW	250W 1, 3, 10kW	1~50kW	250W, 1, 3, 10kW
空中線利得			6	10	3~6		5	4.5	1~2
同一都市の最小周波数間隔		800 kc	2.2Mc			2 Mc	1.2 Mc		ベルリン 一般 1.2Mc 2Mc
搬送波の周波数の オフセット									30~50kc

第3表 FM の電氣的忠実度と FM 雑音レベル

	総合特性	放送機特性	スタジオ装置特性	中継装置特性
電氣的忠実度	50c/s~15kc 1000c/s 基準で ±2dB 以内	30c/s~16kc 1000c/s 基準で ±1dB 以内	30c/s~15kc 1000c/s 基準で ±1dB 以内	30c/s~15kc 1000c/s 基準で ±1dB 以内
FM 雑音レベル	50c/s~15kc 100% 変調で 60 dB 以下	30c/s~16kc 100% 変調で 70 dB 以下	前増幅器の入力 1mV のレベルに対して 65dB 以下	65 dB 以下
ひずみ	50c/s~15kc 2% 以内	30c/s~15kc 1.5% 以下	30c/s~15kc 0.5% 以下	30c/s~15kc 1.5% 以下

第4図 FMQ 変調回路

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{1}{2} L_0 \frac{1}{CR_1} \Delta g_m \quad (5)$$

となる。同様にして $Z_1 = \frac{1}{j\omega C}$, $Z_2 = R_2$ の場合は

$$Y_r = \frac{g_m}{\mu} + j\omega (g_m CR_2) \quad (6)$$

となり、 $g_m CR_2$ なる等価容量が C_0 に並列に入り、周波数変化は $\frac{\Delta f}{f} = -\frac{1}{2} \frac{CR_2}{C_0} \Delta g_m$ (7) となる。

(2) FMQ (Frequency Modulated Quartz) 方式

この方式は英国の Marconi 会社で考案したもので、英国放送協会の FM 放送機や TV 音声放送機に使用している。これは水晶発振子の直列共振回路のリアクタンス部をリアクタンス管で変化させる方法であるが、水晶発振子の直列共振回路のリアクタンス部を直接広範囲に変化することは困難であるから、 $\lambda/4$ 回路を使用してリアクタンス変化を大きくさせている。すなわち第3図の $\lambda/4$ 回路を使用し、 L, C を

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}}$$

に選べば f_0 は動作周波数で、負荷インピーダンス Z_L を2, 3端子に接続した場合の1, 3端子間のインピーダンス Z_{13} は

$$Z_{13} = \frac{Z_0^2}{Z_L}$$

$$\therefore Z_0^2 = \frac{L}{C}$$

第6図 東京実験局放送装置の構成

負荷に水晶を使用すると、1, 3間のアドミッタンス $Y_{13} = 1/Z_{13}$ は

$$Y_{13} = \frac{j\omega L_0 + \frac{1}{j\omega C} + R_0}{Z_0^2}$$

となり、このアドミッタンス回路は並列共振回路 (L', C', R') で表わされ、 $L' = Z_0^2/C_0$, $C' = L_0/Z_0^2$, $R' = Z_0^2/R_0$ となる。

すなわち1, 3端子にリアクタンス管変調器を接続することにより直接 FM 変調を行うことができる。

第4図は B. B. C の放送機に使用している回路である

第4表 東京実験局放送装置の送信機定格

定 格	
搬送周波数	87.3 Mc
出力電力	1kW
出力インピーダンス	50Ω
入力インピーダンス	600Ω
変調方式	セラソイド方式
入力レベル	+10dBm (400c/s, 100%変調)
周波数安定度	0.002%以下
周波数特性	50c/s~15kc ±1dB以内 (50μs デエンファシス回路出力で)
プリエンファシス	50 μs
周波数偏移	75 kc
最大許容周波数偏移	100kc (133%) 以上
ひ ず み	100% 変調のとき 50~100c/s, 7500c/s~15kc で1.5%以下 100c/s~7500c/s で1%以下 133% 変調のとき 50~15kc 5%以下 100%変調に対して、-65dB以下 100%変調に対して、 AM変調度0.3% (-50dB) 以下

第5図 セラソイド変調器

第7図 プリエンファシス回路と積分回路

が、水晶発振器からの高周波信号は T_1 を経て平衡変調器 V_1, V_2 に供給される。その時の V_1, V_2 の第1グリッドとアース間の電圧を E_1, E_2 とすると E_1 と E_2 は 180° 位相が異なる。したがって変調入力のない場合は V_1, V_2 のプレート負荷 C の両端に出力が表れない。 C_k, R_k のインピーダンスを可聴周波変調入力に対して高く、水晶周波数に対して低く選らば位相反転器として動作し、 V_1, V_2 のグリッドに加わる可聴周波電圧は互に逆相になる。変調入力のある場合には前記のバランスが破れ、可聴周波電圧に反応して平衡変調器のプレート電流は変化し、コンデンサー C の両端の電圧はプレート電流の変化にともなって E_1, E_2 に対しては 90° の位相ずれで変化する。

そこで次段の増幅器のプレート電流にも進み、遅れの電流が得られ、この電流変化がサセプタンス変化として発振周波数を変化させて FM を行う。この変調器では、 $3.5 \sim 4.5 \text{ Mc}$ の水晶発振器を使用し、約 4 kc の偏移を得、24 通倍して $85 \sim 108 \text{ Mc}$ で約 100 Kc の周波数偏移を得ている。

(3) セラソイド変調方式

この方式は水晶発振器の出力を微分し、微分波形からのこぎり波を作る。これをスライス微分してパルス波形を作る途中でスライススペースを変調電圧で変化させ、パルスの発生

第5表 7F 31 R の最大定格と使用状況

	最大定格	使用状況 (東京)
プレート電圧	4000V DC	2500V
第1グリッド電圧	-500V DC	
プレート電流	1.5A DC	0.6A
第2グリッド電流	0.15A DC	0.05A
第1グリッド電流	0.5A DC	0.045~0.05A
プレート入力	6 kW	1.5kW
プレート損失	2.5 kW	0.5kW
第2グリッド損失	120 W	25W
第1グリッド損失	50 W	
最高使用周波数	220 Mc	現用周波数 87.3Mc
能率		66.6%

第8図 放送機のひずみ率と周波数特性 (変調度100%)

位置を変化し、位相変調を行う方法である。この方式はのこぎり波の直線性さえ得られれば理論的には $\pm 180^\circ$ の変調が可能である。第5図で動作を簡単に説明すると無調整発振器の出力ひずみ波を C_3, R_4 および V_{2A} のカソードコンダクタンスで微分してパルスを作り、 V_{2B} のカソードホロー増幅器でパルス成形する。このパルス週期は水晶発振器の発振周波数によって規定される。 V_{3A} はのこぎり波発生器で、 V_{3B} のカソードより出力を帰還してのこぎり波の直線部を補正する。 V_{4A} のカソードバイアスのはのこぎり波が丁度半分立ち上った時に V_{4A} のグリッド電流が流れ始めるように調整しておく。変調入力があると V_{4A} の動作バイアス点が変化し、位置変調すなわち位相変調が行われる。 $C_8 R_{15}$ は PM 波を FM 波にする $1/F$ 回路である。 V_{4A} の出力は微分して FM されたパルスを作り通倍段に導く。

第9図 FM放送機の制御系統図

(2) FM 放送機の実際

(1) NHK 超短波放送実験局の放送機

この放送機はNHK 技術研究所で設計製作したもので、高安定度と高性能を目標とし、余裕のある設計をしている。変調器、励振器部は予備機をもち、東京局用は無人局としての資料を得るため放送機の起動、停止は時計リレーにより、励振器の切換は自動モニターと自動制御回路で行っている。第6図は東京実験局放送装置の構成であって、第4表は送信機の定格である。

励振器は現用と予備とラチェットリレーによって交互に使用し、両機の使用時間の均一化をはかっている。変調器はセラソイド変調方式で水晶制御発振周波数を約90kcとし、最低変調周波数を50c/sとし、約1.54ラジアン変調し、1972通倍して87.3Mcで周波数偏移75kcを得ている。プリアンプ回路は第7図のように変調信号の積分回路と兼用させ、 C_2, R_1 で積分回路を作り R_2 で高音部の補償を行いプリアンプとしている。この場合 C_1 も高音部の補償の役をしている。励振部出力は第1中介管2B46で増幅し、4F15Rで終段電力増幅管7F31Rを励振している。冷却は4F15Rのプレートと7F31Rのプレートと入力側をパイプで送風し強制空冷し、空冷風圧は十分に100mm水柱上げに保っている。7F31Rの使用状況を第5表に示す。

電源動作は水晶発振子の恒温槽電源は常時入っており、規定時間に時計リレーが動作すると自動的に送風機、低圧電源、高圧電源が一定時間間隔で時限継電器が順次に入るようにしてある。電源を切断した場合は、7F31Rの安全を期して切断後も送風機は1分間動作して後停止するようにしてある。アンテナとダミーの切替え時は動作完了まで、後段部高圧電源は自動的に遮断される。

演奏所、放送所間の中継は東京局の場合には中継線を

第6表 Du Mont 7000 型 TV 音声送信機

周波数範囲	59.75~87.515Mc
出力	2.5kW
搬送周波数偏差	$\pm 0.002\%$
最大変調率	± 50
ひずみ	$\pm 40\text{kc}$ 50c/s~15kc.....15%
FM 性ノイズ	-60dB 以下($\pm 25\text{kc}$)
AM 性ノイズ	-55dB 以下
周波数特性	75 μ sプリアンプ特性に対して $\pm 1\text{dB}$ 以内
入力インピーダンス	600 Ω /150 Ω
入力レベル	+10dBm

第7表 周波数特性

	主チャネル	サブチャネル
S/N	60 dB 以上	44 dB 以上
ひずみ	1% 以内	4% 以内
周波数特性	50c/s~15kc	50c/s~5kc

第10図 警報信号の5種類

使用し、大阪局では900Mc帯STLを使用している。放送機の特性は第8図のとおりである。本機の自動制御機構は第9図に示すように故障検出用モニターと制御回路とからなり、モニター系は自動モニターとFM検波器とからできており、2系統並列に接続されている。

放送機の故障の検出は音声入力と検波出力との相対的变化を監視し、この変化が一定限界を越える場合を故障とし、モニターより障害検出の出力信号を制御回路に送っている。2台のモニターより同時に同出力信号が得られる時に制御回路は自動的に予備励振機に切替える。励振器の搬送波レベルの監視は電力増幅部の励振管グリッド電流で、送信出力は給電線に電磁結合された回路の検波出力を監視している。なお故障発生の場合は、すべて

第11図 等電界強度曲線

第 12 図 都市雑音確率. 10%~50%値の分布
(10分間記録)

保守員に警報を送り、警報信号には 3 秒と 0.1 秒の長短パルス信号の組合せを使用し、第 10 図のように 5 種類の用途をもっている。

2. TV 音声放送機との差違

わが国の TV 音声放送には FM 方式が使用されている。したがって TV 音声放送機は FM 放送機と若干技術基準の違いによる設計の相異点がある以外は全く変りがない。技術基準の相異点は、FM 放送の最大周波数偏

第 13 図 $S_v \cdot N_v$ と 評 価 の 関 係

移が $\pm 75\text{kc}$ に比して TV 音声放送は $\pm 25\text{kc}$ であり、プリエンファシス回路の時定数が FM 放送の $50\mu\text{s}$ に対し $75\mu\text{s}$ である。第 6 表に代表的な TV 放送機の性能を示す。

3. 単一 FM 放送用受信機

家庭用 FM 放送受信機としては標準放送と FM 放送の両用受信機が標準となり、聴取者の一部には高忠実度 FM チューナーが発展的に継続使用されるであろう。

FM 放送受信機の傾向としては真空管数を減少し消費電力の少い、しかも高度の性能のものへと進んでおりトランジスタ FM 放送受信機も実用化された。

したがって回路的には、TV 音声受信機よりは若干複雑になってきている。

わが国の場合は本放送は実施されていないが FM 放送用受信機は市場にもでており、大体において第 9 表の電波技術協会ラジオ受信機調査委員会の試作仕様に準拠して製作されている。

4. 放 送 区 域

(1) 電 界 強 度

CCIR では、FM 放送の実用サービス電界の下限を

大都市 3 mV/m

中都市 1 mV/m

農村地域 250 $\mu\text{V}/\text{m}$

に確保するよう勧告している。放送区域は地表波によってのみ考え、対流圏伝播によるサービスを考えないのが普通である。電界強度の計算法については省略するが、

第 8 表 受信評価の段階

受信機 評価点	受 信 状 況
(1)	雑音のため聴くにたえぬ
(2)	雑音が多少気になる
(3)	雑音を認めるが実用になる
(4)	たまに雑音を認めるが高音質性を害さない
(5)	極めて良好である

第14図 入力信号電圧と評価の関係:
(受信機による相違)

FM 局の設置条件は TV 放送と同一であるため、TV 空中線または TV 塔と共用する機会が多くなることは予想される。したがってこの場合には既知の TV 放送電界強度曲線に周波数、輻射電力の換算補正を加え FM 放送の電界強度を比較的正確に求めることができる。第 11 図は JOAK-TV (音声) 107.75Mc, ERP 31.5kw の電界強度地図から ERP 5.4kW の 87.3Mc の FM 放送の電界強度を計算した等電界強度曲線で、図中の数値は電界強度実測値 (50% 値) である。

(2) 混信

FM 放送の混信は AM 方式の標準放送の混信状態と異なる。高忠実度 FM 放送を実施した場合を仮定し、男女学生 60 名を被験者として許容限を実験的に求めた結果を次に示す。

(1) 同一チャンネルでは連続的な雑音に支配され、許容限は受信機入力における保護比で約 30~50 dB になり、周波数差が 50 kc の場合には音質は放送内容の瞬時レベルに関係し、雑音またはひずみとなって表われ、許容限はいつれかの番組が会話の場合約 15dB, 両方共音楽の場合は 25 dB となり放送内容によって異なる。

(2) 隣接チャンネル ($\pm 200\text{kc}$) では、両方の番組レベ

第 9 表 電波技術協会ラジオ受信機調査委員会
試作仕様標準型 AM/FM 放送受信機

FM 部	
電 源	50~60c/s 100V
受信周波数	80~90Mc
局部発振周波数	69.3M~79.3Mc
中間周波数	10.7Mc
デ・エンファシス特性	50 μ s
入力インピーダンス	300 Ω 平衡/75 Ω 不平衡
感 度	30 μ V (S/N) 30 dB で出力 50mW を得る時の最小入力)
感 度 差	30 dB 以内
ハ ム	400c/s 30% 変調の信号入力 1mV で、50mW 出力に対するハムレベル -30dB 以下
局部発振器周波数変動	始動後 5 分時の周波数に対して以後周波数変動 20kc 以内
選 択 度	2 信号選択度特性で $\pm 200\text{kc}$ で -14dB $\pm 400\text{kc}$ で -34dB
イメージ妨害比 中間周波妨害比 AM 抑圧度	(備考 放送をある期間受信してから決定する)
電氣的忠実度	
ひ ず み	400c/s を基準としてデエンファシス曲線からの偏差 70c/s~12kc で $\pm 2\text{dB}$ 以内 400c/s, 100% 変調の信号 1mV を加えた場合 50mW 出力での高調波含有率 2% 以内
出 力	高調波含有率 10% で 2W 以上
スプリアス輻射電界	30m で 30 μ V/m 以下を目標とする。

AM 部省略

第 15 図 入力電圧 (S_r) と評価の関係

ルに関係してひずみを生じ、許容限は受信機の実効選択度で出力妨害比約 30dB の場合の入力妨害比の値と等しくなる。

(3) 変調度と許容限の関係は、変調度が大きなるほど許容限は少くなり、制限増幅器の有無と許容限には関係はない。したがって同一放送地域の局間周波数が 800kc ~ 1 Mc で許可されるものとすれば地表波での近距離地域の混信は僅少であるが、遠距離局からの対流圏あるいは E_s 層反射による伝播信号の中の近接または同一チャンネル信号が混信の対象となる。FM 遠距離異常伝播の電界強度は時間率にすれば小さいが、相当大きい値を示している。1 例として JOAK FMK の電波が稚内で最大 42 dB 1 時間連続、大分で 50 dB 1 時間半、JOBKFMX の電波が稚内で 50 dB 3 時間連続という記録をも得ている。

放送区域内の混信区域は少なくとも自局の 50 μ V/m の等電界区域内の混信範囲を明確にしておく必要がある。

(3) 雑音

FM 方式では希望信号が雑音信号より一般に大なる場合は AM 方式に比較して改善度が大きであるが、振幅値の大きい衝撃性雑音が主に可聴周波出力で妨害になる。したがって村落より都市における雑音強度が大なるためこの強度を対象として指定サービス電界強度が決定されている。第 12 図は関東地方の市町における雑音分布を示しており、他の市町も自動車台数からその地の雑音電界強度の平値均が推定できる。

雑音以外の受信障害として多重伝播経路による反射ひずみがある。これは地形によって支配される場合が多いが、直接波と反射波の強さが同程度の地ではダイポールでは高忠実度受信は不可能な程のひずみ量になるが指向性受信空中線、受信空中線位置、受信機の性能の向上により処置することができる。しかしわが国のように複雑

の変調器に入り、故障時には自動的に予備変調器に切換えられる。また両方のアンテナの輻射電波は常に同相でなければならないから位相比較器で自動的に調整している。この装置で放送後1年間の放送事故は全放送時間の0.001%以下というデータが報告されている。

な地形では十分考慮しなければならない問題である。

(4) 受信の質

NHK 東京超短波放送実験局の電波で関東地方の各市町で 10~20 地点の受信地を無作為抽出し、戸外アンテナ高さ (4m, 2m)、室内ダブルレット、電灯線アンテナで信号電圧および雑音電圧と受信状況の評価との関係を求めたのが第 13 図である。この場合の受信評価の分類は次の 5 点法で行い、受信機は電波技術協会ラジオ受信機調査委員会試作仕様の標準型による性能のものを使用している。

また、この評価法により市町全測定点から入力信号電圧と評価との関係を求めたのは第 14 図であり、これから 4 m 高、2 m 高の受信空中線の場合のみとり出し都市と町に分類すると第 15 図のようになる。これらから放送区域内の受信状況の概略は推定できると思う。

5. FM 放送技術の諸問題

(1) 放送機の運転方式

FM 放送機のみならず他の放送機においても信頼度を向上するため、2 台以上の放送機または故障発生確率の大なる部分を2 個以上用意する予備機切替方式、または並列運転方式を採用する傾向がある。

1. 予備機切換方式

予備機放送機または故障の多いと予想される部分を常に別に 1 台以上用意しておき、現用機故障の場合に切替える方式である。この方式は現用機と同程度の機器が常に 1 台遊休することが欠点であるが、休止中の保守点検が容易であり、減力することがないのが利点である。

2. 並列運轉方式

常時2台以上の放送機を並列運転し、その中の1台が故障の場合でも瞬時停波することなく、減力状態で放送が継続される特長があり、前者より経費が節約できる。

第16図はB.B.Cの並列運転方式FM放送装置の実例で、アンテナも2分されて並列のそれぞれの系統から給電されているから、もし一方の系統が事故でもE.R.Pは1/2に低下するだけである。プログラム信号は常に2台

(2) 高忠実度放送としての FM 放送の変調度

FM 放送機の変調度の大小が受信者に与える影響は、概念的には変調度の大きな程雑音に対する改善度は向上するが、プログラムがダイナミック・レンジの広い場合等はピークレベルで過変調になり、受信側でひずみを発生する頻度が増大する。受信側でダイナミック・レンジを広くするためには、受信機の S/N をよくし出力を大にするとともに放送機の変調度をピーク時に過変調にならぬよう下げる必要がある。しかし、変調度を極端に下げた場合には、プログラムの低レベルの部分が受信機雑音に埋もれる。したがって、高忠実度 FM 放送の場合の変調度のレベル・セッティングは重要な研究問題である。

マイクロホンに収音されたプログラムを VU 計で監視する場合、一定時間範囲内での VU の指示するピーク値と真のピーク値との差をピーク・ファクターと定義すれば、放送プログラムのピーク・ファクターは 25 dB という値は殆んどまれで 15~20 dB と考えてよい。したがってプログラムを VU 計で監視する場合には、プログラムのピーク値で規定最大周波数偏移 75 kc 以上に瞬時周波数偏移がなることは電波監理上からは望ましくない。このピークファクターを 20dB とすると送信機入力レベルを 100 % の場合より -20 dB 低くレベル・セットすればピーク値 20dB で 100 % 変調になり、ピークの無い場合には変調度は非常に浅くなる。これを防ぎ変調

第 17 図
放送機変調度
レベルセッテ
ング

第 18 図 和と差の方式

度を大にするために制限増幅器を使用する。この場合には制限増幅器のひずみを考慮して決定しなければならない。現在 NHK 超短波実験局では、第 17 図の特性の制限増幅器を使用しているが、この制限増幅器の不検知率を 50%にとるとシンホニーで -7VU 、軽音楽で -8VU 、男声の場合で -7.5VU 、拍手の場合で -12VU の入力になる。故に、送信機の変調度 100%の点に制限動作点をえらび 100%時の入力レベルから 8dB 低いレベルにセットする。したがってスタジオの VU 計を基準にしていえば、VU 計で -2VU のレベルの場合単純音で送信機は 100%時のレベルより 8dB だけ減衰させてあるため、40%変調であり、プログラムの場合にはピーク値を -2VU のレベルで送れば、真のピークが 20dB 高くても制限増幅器のために過変調がおさえられ、ひずみも殆んど感じないのである。28dB のピークで変調度が約 110%になる程度であるから他局に妨害を与えることはない。第 17 図は変調度レベル・セッティングを図示したものである。

(3) オフセット法

オフセットとは同一プログラムを放送し、地理的に近い2局を同一チャンネル内におく場合に2局の搬送周波数を局間距離によって若干離す方法である。西ドイツでは実効輻射電力 100 kW の同一チャンネル局の最小局間隔は 280km、隣接チャンネル局では 140km で周波数計画がなされているが、この際のオフセット周波数は 30kc~50kc である。これを実施する場合には変調周波数の位相も同一に保つ必要があり、かくすれば両局の放送区域は互におかされることがなく、聴取者はいずれか電界強度の強い局を受信することになる。

西ドイツの研究によれば同一チャネルで2局を動作さ

せる場合は搬送周波数を 30kc~50kc の一定周波数間隔で、変調周波数の低い方 ($f \leq 1000$ c/s) が同一位相で輻射されれば実際上妨害なく受信できる。また一定正弦波で激しい混信妨害をおこす場合でも音楽、スピーチの放送プログラムをもって同位相(少なくとも低い周波数帯)で変調した場合には妨害は著しく減少することを認めている。

またプログラムの変調を同位相で実施しない場合には受信機で混信しないためには入力 S/I 比が 20 dB 必要であると報告している.

6. FM 多重放送

FM 多重放送は多チャンネル FM 放送とも呼ばれ、1つの FM 放送電波で同時に2つ以上の異種放送内容を送る放送である。したがって変調方式は多階段変調を使用しなければならず、周波数分割方式と時分割方式とが考えられるが、時分割方式はFM放送のように帯域幅が比較的狭い場合には不適当なため主として AM-FM, FM-FM 周波数分割方式が使用される。

現在この放送を行っているのは米国、カナダのみで、1952年から契約放送に使用され、現在放送中のものが28局、計画中が296局あり、立体放送、ファクシミリ放送の実用化へと発展の傾向にある。英国、西ドイツでもコンパチブル方式による立体放送の伝送方式を使用することを1957年頃より研究中である。わが国でもNHK技研で1957年からFM-FM方式の多重放送の実験を開始し、1958年5月これを使用して立体放送の実験を一般に公開し、引続きFM-FM方式およびAM-FM方式により1959年5月コンパチブル方式による立体放送の実験を公開した。

1958 年 12 月、東海大学 FM 放送実験局 (JS 2 AO) が FM-FM 方式で多重放送の実験電波を発射し、3 チャンネル異種放送内容を送り出す実験を開始した。今後、多重放送は契約放送、立体放送、ファクシミリ放送へと発展が期待される。

第 19 図 東海大学超短波放送実験局放送機の系統図

(1) FM 多重放送の用途

(1) 異種音声放送

主チャンネルに比較して副搬送波チャンネルの品質が劣るために、主チャンネルで高忠実度放送、副搬送波チャンネルは音質的に制限を受けても支障のない放送内容を選ぶことになる。高価な受信装置を用意できる契約放送の場合には、工場、ホテル、レストランなどの背景音乐の特定放送が比較的音質よく供給できるのであろう。わが国の契約放送用の副搬送波には 67kc, 41kc が多い。

(2) 立体放送

FM 多重方式による立体放送は現在米国で 6 局が実験放送している。この立体放送方式には M. G. Crosby の提唱した“和と差”の方式を採用している。これは立体放送用プロ R, L を第 18 図のように $(R+L)$ を主チャンネルで $(R-L)$ を副搬送波で送り、受信側で加減して $\{(R+L)+(R-L)\}=2R$, $\{(R+L)-(R-L)\}=2L$ を再現する方法である。

この方式は主、副搬送波に別々に立体放送プロを送りこんだ場合よりも副搬送波の S/N が 20 dB 程度改善されるが、主チャンネルの S/N が悪くなる欠点がある。これを改善するために“方向情報方式”による立体放送が英国、ドイツより提案されている。この基本的な考え方として主搬送波プロの品質を劣化させずに副搬送帯の S/N を向上するには副搬送波の帯域を狭くすればよいということに基いている。英国放送協会と E. M. I. で行った実験では、立体感を得るための情報（方向情報）をプログラムから分離して伝送し、立体放送用受信機でプログラムに立体感を得るに必要な情報を追加して再生する方式である。

E. M. I. の実験では方向情報は 100c/s 以下の帯域で伝送できると報告している。この場合主搬送波で $(R+L)$ を方向情報は副搬送波で送れば普通の FM 放送受信機では $(L+R)$ が受信できるからモノラル放送とのコンパチビリティがある。

(3) ファクシミリ放送

ファクシミリ通信は専用通信網では著しい発展が将来予想できるが、放送に採用される時代も遠い将来でないと考える。公安、報道など特定受信者に限定せず一般家庭向放送の簡易実用化が外国では研究中である。FM によるファクシミリは雑音、フェージングなどにすぐれているから主搬送波で音声放送を副搬送波 FM による SCFM 方式、FS 方式が実用にされるであろう。

(2) FM 多重放送装置の実例

第 19 図は東海大学超短波放送実験局放送機の系統図で、この放送機の定格を第 9 表に示す。装置は主チャンネル、第 1 副チャンネル、第 2 副チャンネルからできており、

主チャンネルは 50c/s~15kc で主搬送波は 86.5Mc を直接変調している。第 1 副チャンネルは副搬送周波数 43kc を 50c/s~5kc で変調し、得られた被変調波出力で主搬送波を変調している。同様に第 2 副チャンネルでは、副搬送波 70kc を 50c/s~5kc で変調し、この被変調波でさらに主搬送波を変調している。変調方式はリアクタンス管変調方式を採用し、主チャンネルの最大周波数偏移を $\pm 45kc$ と第 1 副チャンネルによる最大周波数偏移を、 $\pm 11.5kc$ 、第 2 副チャンネルのそれを $\pm 18.5kc$ に選んでいる。

む す び

以上、現在実施している NHK の超短波実験放送を主体として各国の FM 放送の概況について述べたが、超短波放送の趨勢を知る一端とでもなり得れば幸甚のいたりである。

(昭和34年9月5日受付)

【参 考 文 献】

- (1) E. W. Hayes and H. Page: The B. B. C Sound Broadcasting Service Very High Freq. P. I. E. E. Nov. 1956
- (2) A. C. Beck, F. T. Norbury: Freq.-Modulated VHH Transmitter Technique P. I. E. E. Nov. 1956
- (3) W. S. Mortley: Freq. Modulation Quartz Oscillators for Broadcasting Equipment P. I. E. E. Dec. 1956
- (4) J. R. Day: Serrasoid FM Modulator Electronics Oct. 1948
- (5) G. H. Russel: High-Quality Sound Broadcasting W. World Janu. 1957
- (6) F. G. Utzman Wnöpfel: Planung des Randfunksenderzells in ultrakurzwellen bereich für Horröndfunk und Fernselen
- (7) 東海大学 FM 技術委員会資料
- (8) 放送技術 昭和 33.3 FM 放送特集号

オランダの短波放送の近況

「オランダ世界放送」はオランダの国外向け短波放送を担当している公共団体で、従来は英語、スペイン語、アラビア語、インドネシア語、アフリカ語およびオランダ語の 6 カ国語を使用して毎日合計約 16 時間半の番組をアフリカ、北アメリカ、オーストラリア、ニュージーランド、南アジア、ヨーロッパ、インドネシアおよび中南米諸国の各方面に送っていたが、59 年 7 月 1 日からはオランダ語番組が 3 本、あらたに加えられて放送時間の合計は 18 時間に増加した。

あらたに加えられた番組 3 本のうち、1 本はオーストラリア向け (50 分)、他の 1 本はニュージーランド向け (20 分) となっている。従来は合計 9 時間 10 分のオランダ語番組が毎日、放送されていたが、これで合計 10 時間 40 分になったわけである。

(Kirche und Fernsehen" 1959, 7, 20)