

車載TV受信性能向上

Reception Performance Improvement of TV Receiver for Car

菅原 秀二

Shuji Sugahara

高山 一男

Kazuo Takayama



要 旨

車の中でもTV放送を楽しみたいという要望に応じて登場した自動車用TV受信機は広く普及してきた。自動車という移動体で固定受信と同等の受信性能を得るのは難しく、移動体用に開発された受信性能改善技術が用いられる。現在、もっとも一般的なのは、ダイバシティアンテナによる受信法である。

しかし、車が速く走る場合の応答性など、十分な効果が得られない場合がある。

この度、当社はダイバシティアンテナによる改善を補うための受信方式を開発した。

この方式は、受信機の間周波段で、受信状態に応じて伝送周波数特性を補正するものである。これにより、弱入力時の信号対雑音比および色付き感度の改善に効果がある。

本稿ではTV放送の移動体受信において発生する現象とその解析、従来技術による改善方式および新方式の基本原理、効果について述べる。

Abstract

There are a lot of persons who have the demand which is that they want to enjoy the TV broadcasting in the car. Therefore, the television receiver for the car has gained in popularity widely recently.

It is difficult to obtain the reception performance equal with the domestic use by the television receiver for this car.

The reception performance improvement technology is developed for the car.

The general one is the reception method with the diversity antenna now. However, there is a problem in the response when the car runs fast and an enough effect might not be achieved. Our company developed the method to supplement the effect of the improvement of the diversity antenna this time.

This method corrects transmission frequency characteristic in the middle frequency stage of the receiver according to the state of the reception.

It is effective in the improvement of signal:noise ratio and the coloring sensitivity when weak RF signal inputs as a result.

In this paper, a problem in mobile reception of TV broadcasting and an old improvement method by the technology are previously described.

The principle and the effect of a new method are described in following.

1. まえがき

車の中でもTV放送を楽しみたいという要望に応じて登場した車載用TV受信機は、ディスプレイ（映像表示器）を兼用するカーナビゲーションと共に広く普及してきた。車載用のTV受信機に対する消費者の期待は、何時でもどこでも家庭と同等の映像が見られる事であるといえる。これを自動車という移動体環境で実現することは非常に難しい課題である。

自動車に搭載するアンテナは、無指向性の特性と大きさの制約により、利得を高くとれない。それにより、十分な信号強度で受信できるエリアが狭くなるとともに、マルチパス（多重路伝搬）の影響を受けやすくなる。

このマルチパスによる受信障害は、家庭での受信では軽度のゴースト（映像の多重化）が見られる程度であるが、車載環境下では同期の乱れ、色相（色合い）の変化などが発生し、非常にみにくい映像となる。

このマルチパスに対しては、複数のアンテナを切り替えて受信するダイバシティアンテナが、従来より採用されている。しかし、TV放送の方式から受ける制約により、車両走行に伴うマルチパス性の高速フェージングに対しては効果が不足する。特に映像モニタを後席用に設置し常時映像を表示するシステムには、走行中にも効果的な受信性能改善策が望まれる。

このような背景のもと、当社では走行中の映像乱れを軽減する方式の検討を進めてきたところ、このたび受信機のIF（中間周波）段において周波数特性を補正することにより車載TVの受信性能を向上させる回路の開発を完了し、その有効性を確認した。ここでは、マルチパスと弱電界による映像乱れ原因の解析、従来技術を含め、新方式の説明を行う。

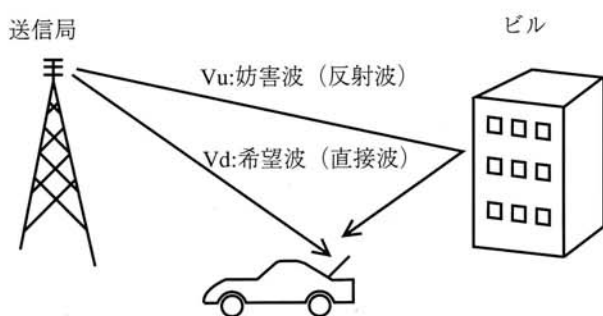


図-1 マルチパス発生状況
Fig.1 Multipath occurrence condition

2. マルチパス妨害と従来技術

2.1 マルチパス妨害とは

モデル化した電波状況を図-1に示す。放送局から直接的に到達する希望波（直接波） V_d とビルに反射して間接的に到達する妨害波（反射波） V_u が同時に受信される。妨害波 V_u は、伝搬経路差に応じた時間分遅延して到達する。

第1のマルチパス妨害の影響は、時間領域に受けるものである。TV放送での映像信号の伝送は、送信側で画像を水平・垂直走査により画素毎の輝度信号に分解し、時間的に直列（シリアル）で行われる。受信（受信）側では、ディスプレイを同様に走査し、元の画像を再現する。従って、遅延時間を伴った妨害波があると主映像の横に不要な映像（ゴースト）が発生することになる。

第2のマルチパス妨害の影響は、周波数領域に受けるものである。遅延時間差に応じて信号レベル対周波数特性が変化する。マルチパスが発生した場合の受信レベル対周波数特性を図-2に示す。 V_d と V_u の位相差が同相となる周波数では信号レベルがピーク（増加）となり、逆相となる周波数ではディップ（減少）となる。このピークまたはディップを生じる周波数間隔 f_{sp} は V_d に対する V_u の遅延時間により変化し、遅延時間差を τ とすると次式で表される。

$$f_{sp} = 1 / \tau \quad (1)$$

車が走行により受信位置が変化すると τ が変化し、それにつれて f_{sp} が変化する。これらの現象は周波数選択性フェージングと呼ばれ、一般的に信号伝送に必要な周波数帯域が広いほど影響が大きい。TV映像信号は振幅変調（AM）で電波に乗せられ、放送局より送り出され

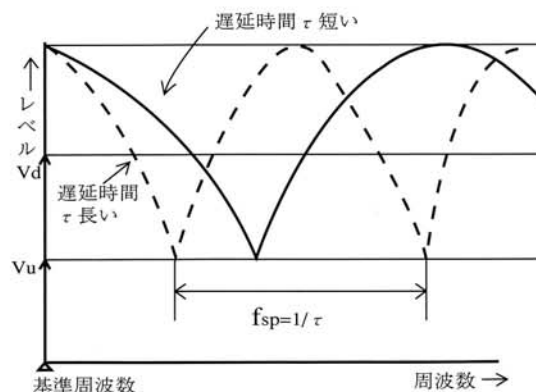


図-2 周波数領域におけるマルチパスの影響
Fig.2 Influence of multipath in frequency domain

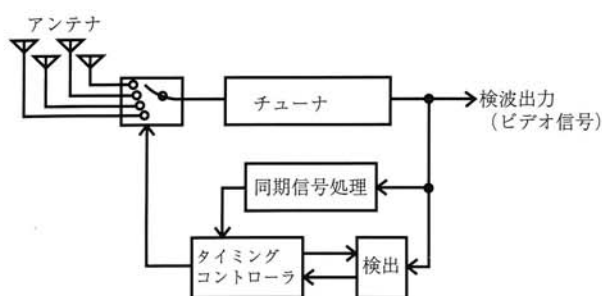


図-3 ダイバシティアンテナ受信システム

Fig.3 Reception system with diversity antenna

る。下側波を削減する残留側帯波方式を採用しているが、それでも約5.5 MHzの帯域があり、マルチパスによる選択性フェージングの影響を強く受ける。

2. 2 従来技術による受信性能改善

受信システムとして通常、第一の対策は受信アンテナを工夫して妨害波（反射波）の影響を軽減する事である。具体的方策としては、次の様になる。

①家庭用（固定受信）

八木型等、単一指向性アンテナを使用して希望波のみを受信するか、マルチパス（ゴースト）対策アンテナを使用して妨害波を排除する。

②車載用（移動受信）

複数のアンテナを同時にマルチパス妨害を受けないように配置し、受信状態に応じて切り替える。

受信アンテナで十分な効果が得られない場合、受信機での対策を併用する。これも、家庭用と車載用では異なり、家庭用ではゴーストキャンセラが、車載用では同期安定化による改善方策が実用化されている。

以下に家庭用と車載用のマルチパスに対する改善方式について述べる。

2. 2. 1 マルチパス（ゴースト）対策アンテナ

2本のアンテナをある間隔をもって設置し、同時給電してやると指向性の先鋭度の改善や、ヌル（感度低下）点を持たせることができる。ヌル点は、受信電波の波長に対するアンテナ間隔、給電位相差により生じる方向（角度）が変化する。妨害波の到来方向とヌル点を一致させることにより、マルチパス妨害を軽減する。

固定受信では実用化されているが、移動受信では希望波および妨害波の到来方向が刻々と変化する、妨害波も1波ではないので制御回路が複雑になる。当社ではダイバシティアンテナシステムの切換えプランチ（枝）を増やす方策を兼ねて同相合成と逆相合成の検討を行ったが、

分配器によるレベル損失などマイナス要素があり、実用化には至っていない。

2. 2. 2 ダイバシティアンテナ

図-3にダイバシティアンテナを用いた受信システムの構成を示す。

2～4本の受信アンテナを用意し、それぞれ同時にマルチパスの影響（受信信号レベルのディップ）を受けない様に設置位置（高さ）、指向性等を変えて車両に設置する。各受信アンテナの出力は、切り換えスイッチを介して受信機に接続している。受信状態が劣化するとアンテナ出力を切換え、良い受信状態が得られるアンテナを選択して受信する。

基本原理は以上であるが、TV放送受信では常時アンテナを切換えてアンテナ間の受信状態を比較することができない。理由は、切換え先の受信状態が切換え前のそれより劣る場合、受信画像に切換えノイズ（白線）を生じるからである。そこで、ダイバシティアンテナの制御回路では、映像信号の表示を行わない垂直帰線期間に受信アンテナの切換えを行っている。車両走行によりフェージング周期が垂直帰線期間の周期（約16.7 msec）より短くなると追従できない。

2. 2. 3 ゴーストキャンセラ

ゴーストキャンセラは、受信機内部でのマルチパス対策方式で、固定受信の家庭用受信機に用いられる。復調後のビデオ信号出力をトランスバーサル・フィルタによる波形等価器を通し、マルチパスによるゴーストを除去する。図-4にトランスバーサル・フィルタ方式によるゴーストキャンセラの構成を示す。

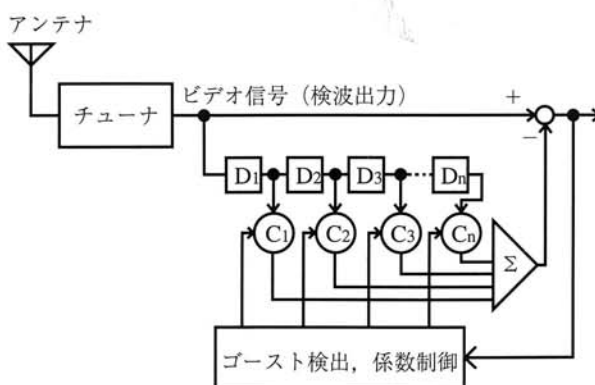


図-4 ゴーストキャンセラ

Fig.4 Ghost canceller

D1～DnはCCDによる微小遅延器であり、それぞれの出力はC1からCnの係数増幅器を経て合成される。合成出力は受信機内部で生成した擬似ゴースト信号であり、入力信号から引き算することによりゴーストをキャンセルする。キャンセルに必要な係数は、映像信号の垂直帰線期間に挿入されたGCR (Ghost Cancel Reference) 信号を基に計算し、フィードバック制御で更新・制御する。

ゴーストキャンセラの応用が固定受信に限られる理由は、キャンセルのための係数決定に5秒程度必要とし、車載環境で生じる高速フェージングに追従できないからである。

2. 2. 4 同期安定化

受信映像のディスプレイへの描画・表示は、放送局から送られる映像信号中の水平、垂直同期信号に同期して行われる。これらの同期信号がマルチパスによるフェージングで消失、あるいは歪みを受けると受信映像に乱れを生じる。特に垂直同期が外れると、みにくい映像となる。これを改善するのが、同期安定化方式である。

車載用TV受信システムには、同期信号処理にカウンタダウン方式を採用するものが多い。

この方式では、映像信号中の水平同期信号に同期する発振器を設け、発振出力から分周により水平・垂直のドライブ(同期)信号を生成している。同期方式にはPLLが用いられ、マルチパスによる水平同期信号の多少の欠落は影響を受けず、受信映像の乱れは少ない。しかし、長時間の同期信号の欠落は、映像の位置ずれを生じる。

3. 新受信性能改善方式の開発

3. 1 開発のねらい

①垂直帰線期間だけでなく、映像期間にも動作可能な方

式とし、走行中に発生する高速フェージングに追従できるようにする。

②マルチパスだけでなく、弱電界受信時の画質の劣化にも効果のある方式とする。

3. 2 開発方針

受信性能に対するマルチパスの影響を調査し、受信機内部の高周波段または中間周波段において受信性能を改善する。

3. 3 マルチパスの影響調査

マルチパスによる影響を調査するため、実験室でのシミュレーションとフィールドでの検証実験を行った。

3. 3. 1 マルチパスシミュレーション

実験室でマルチパスに対する評価・検討ができるように、図-5に示す構成のマルチパスシミュレータを作成し、検討に使用した。トラッキングジェネレータとスペクトラムアナライザは伝送特性を確認するもので、移相器で合成レベルが落ち込む周波数を設定し、PIN-ATTで落ち込み量を設定する。また、これらの制御を連続的に行う事により、走行状態に近いシミュレーションも実施可能である。

3. 3. 2 シミュレーションによる調査

受信チャネルの映像帯域内で、映像搬送周波数(f_p)に対する逆相合成周波数 f_{dip} を可変し、6インチの車載用液晶モニタを使用して受信映像の劣化状況を観察した。

① $f_{dip} = f_p$ 付近

同期乱れ、色相変化が発生し、ひどい場合は映像がつぶれて受信不能状態になる。マルチパスの影響は最も大きく、受信映像の状態は f_{dip} の僅かな変化で、多様に変化する。

理由は、次のとおりである。

TV受信機は、映像信号の水平同期信号のせん頭値で

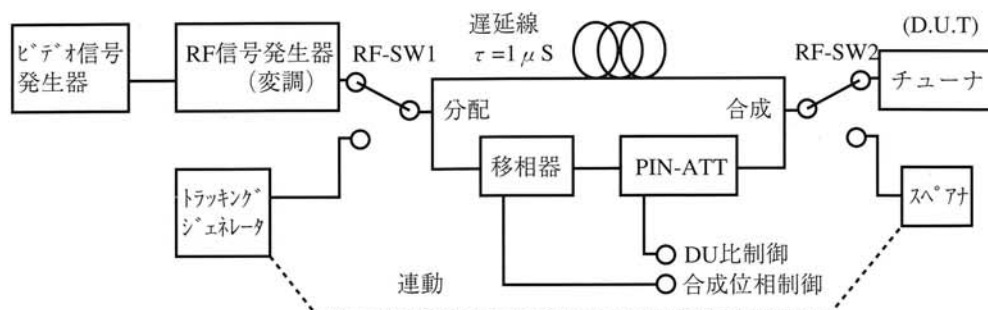


図-5 簡易マルチパスシミュレータ
Fig.5 Simplified multipath simulator

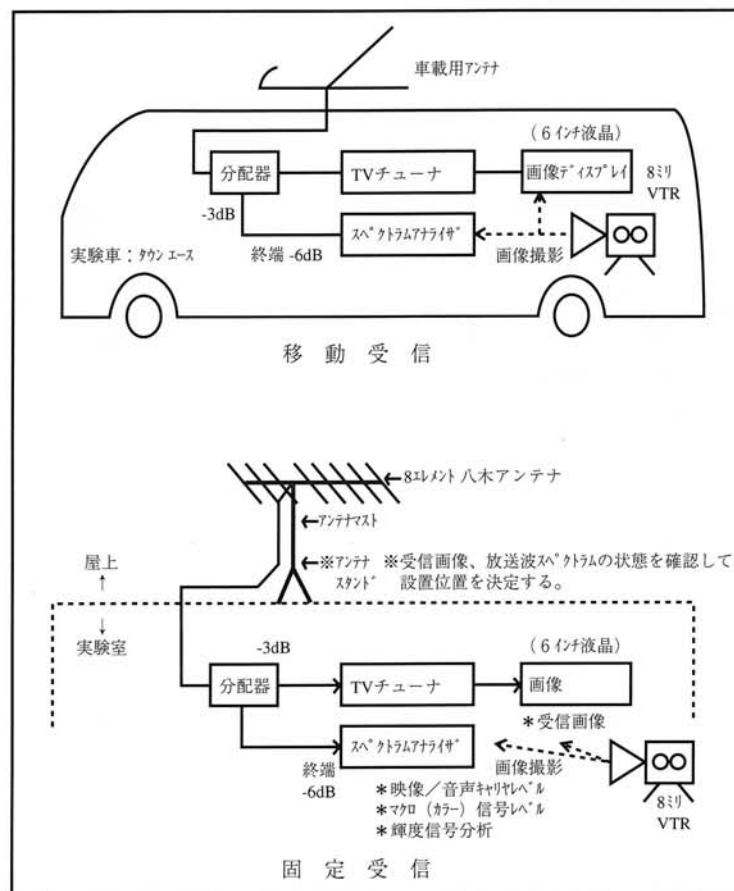


図-6 フィールド実験の構成
Fig.6 Composition of the field experiment

AGC量を決定するキードAGC回路を採用している。映像キャリアの近傍に分布する同期信号が、マルチパスにより失われるとAGC動作が正常に行われず、復調信号が歪み映像が乱れる。

また、復調信号の歪みは、映像信号からの同期信号分離にも影響を与え、画像の同期乱れの原因となる。

$$\textcircled{2} f_{\text{dip}} = (f_p + 1 \text{ MHz})$$

ゴーストに類似した主映像に近接する2重像が発生する。（1 μ sec以下の短い遅延時間によるゴースト現象に類似）

理由は、復調信号の周波数帯域の内、1 MHzのところにはノッチが入り、コントラスト（輝度変化）の大きい映像の場合、リングングによる波形変化を生じることによる。

$$\textcircled{3} f_{\text{dip}} = (f_p + 2 \text{ MHz})$$

車載用のような小型モニタでは、見かけ上の受信画質劣化はない。

$$\textcircled{4} f_{\text{dip}} = (f_p + 3.58 \text{ MHz})$$

カラー放送を受信しても白黒映像となる。

理由は、カラー再生に必要なカラー副搬送波成分が失われるためである。

3. 3. 3 フィールド実験

図-6に示す構成を用い、固定受信と移動受信それぞれについて同一放送を受信し、受信映像と受信波の周波数スペクトラムの記録を行った。固定受信により、フィールドでのマルチパスの評価基準を得る。固定受信と移動受信の記録を分析することにより、マルチパスの影響を評価する。

分析は、記録したVTR映像から単位時間毎に画像評点（官能評価法による受信映像品位）をつけ、映像/音声キャリアレベルの値を読み取った。

実験結果は、シミュレーションと同様、映像搬送周波数の落ち込むところで、画像評点が悪くなる結果が得られた。

分析結果の一例を図-7に示す

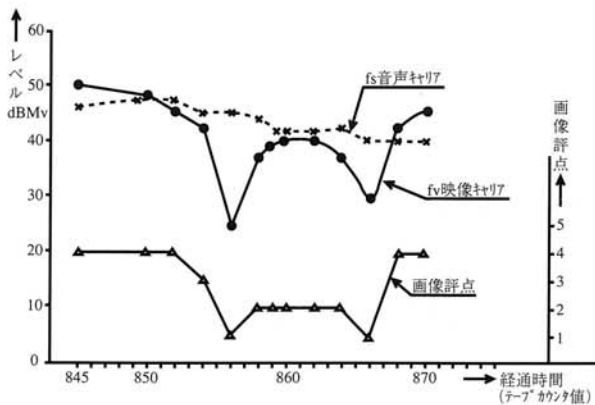


図-7 フィールド実験結果
Fig.7 Result of the field experiment

3. 4 弱入力受信に対する考察

T V映像の受信画質は、映像信号（復調出力）のS/N（信号対雑音比）と関連があり、S/Nの劣化により受信画質も劣化する。

受信機の入力電圧と映像信号S/Nの関係は、(2)式で表わすことができる。

(2)式より、受信機の入力電圧が低下する弱入力状態では、S/Nが劣化することがわかる。

同一入力電圧でもノイズ成分を小さくできればS/Nを改善することが可能である。一般的にはNF（雑音指数）を小さくする手段をとる。特に、受信機（システム）初段にNFの小さい素子を使用することが有効である。

$$\frac{S}{N} = \frac{E_i \cdot m}{2\sqrt{2} \cdot \sqrt{KTB} \cdot R \cdot F} \quad (2)$$

R=アンテナ入力端子インピーダンス

K=ボルツマン定数 (1.38×10^{-23})

T=絶対温度

B=等価雑音帯域幅

F=総合雑音指数 (NF)

E_i = 受信機入力電圧

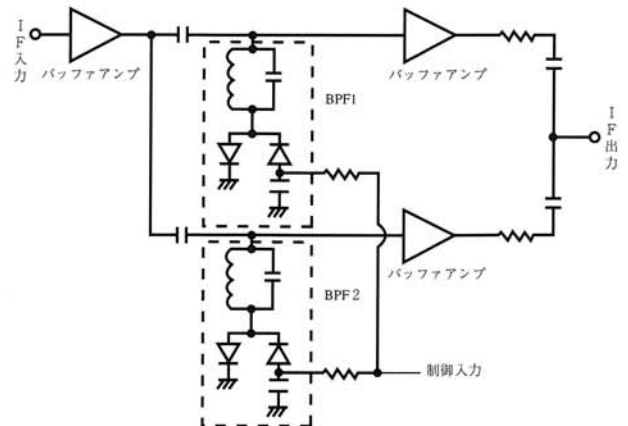


図-9 I F段周波数特性補正回路
Fig.9 Frequency characteristic correction circuit on I.F.stage

m = 変調度

3. 5 新受信性能改善方式

3. 5. 1 新方式の概要

マルチパスによる受信映像への影響を調査した結果、映像搬送波（ f_p ）付近の信号が画像の安定度（同期の乱れおよび映像の輪郭）に大きく寄与している。加えて、映像カラー副搬送波付近の信号成分が色再生に寄与していることから、マルチパス、弱電界等で受信レベルが低下したときは、I F（中間周波）段で映像搬送波とカラー副搬送波のレベルを高めると共に、その他の帯域の信号レベルを低下させる方式を導入した。

図-8に新方式を導入した受信機の構成を示す。

3. 5. 2 I F段f特（周波数特性）補正回路

開発したI F段f特補正回路の構成を図-9に示す。受信機の選択度特性を決定するSAWフィルタを通過した信号を2分配し、一方をBPF1に他方をBPF2に印加する。BPF1および2は、コイルとコンデンサで構

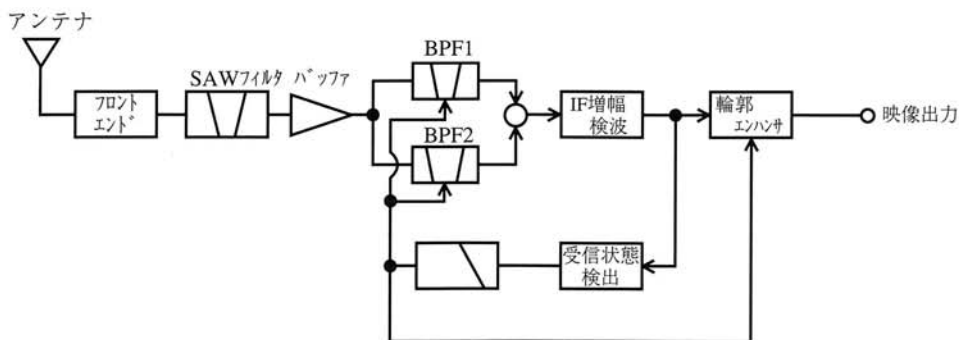


図-8 新方式（I F段f特補正方式）構成
Fig.8 Composition of new method

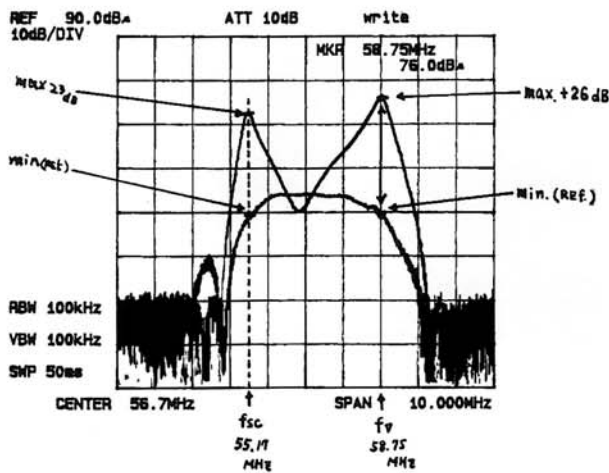


図-10 I F 段周波数特性
Fig.10 Frequency characteristic of I.F. stage

成した単同調回路である。それぞれ同調周波数は、BPF 1 が I F における映像搬送周波数の 58.75 MHz、BPF 2 がカラー副搬送周波数の 55.17 MHz である。補正量の制御は、BPF 1 と BPF 2 のコールドエンド側に接続した PIN ダイオードの順方向電流を可変して行う。

SAW フィルタに f 特性補正を加味した総合の I F 段通過特性を図-10 に示す。補正を行わない（定常）状態では、SAW フィルタ本来の通過特性となり、補正量を増すにつれて映像搬送波とカラー副搬送波を選択的に増幅する。映像搬送波に対する最大補正量は、DU 比（希望波と反射波のレベル比）0.5 dB までのマルチパスによるレベルの落ち込みに対応できる様に 25 dB に設定した。

3. 5. 3 S/N 改善に対する考察

受信機では、アンテナ入力からの微小な信号を多段接続した増幅回路で復調回路が動作するレベルまで増幅する。

通常、受信機にはアンテナからの入力レベルが変動しても、復調出力レベルが変動しないように、AGC（自動利得調整）回路が設けられる。

AGC 付き増幅回路の基本構成を図-11 に示す。

①出力電圧と利得

出力電圧 E_o は (3) 式で表わされる。

$$E_o = E_i \cdot G \quad \dots \dots \dots (3)$$

可変利得増幅回路の利得 G は、(4) 式で表わされる。

$$G = k \cdot (V_r - E_o) \quad \dots \dots \dots (4)$$

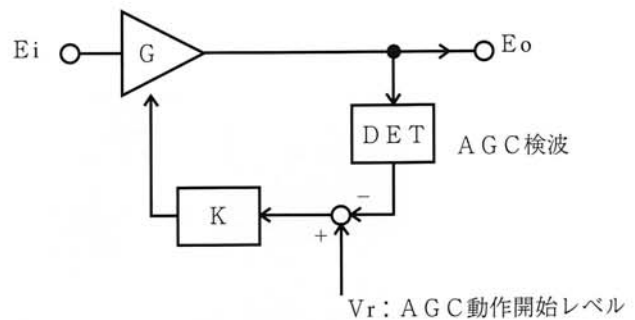


図-11 AGC 付き増幅回路の基本構成
Fig.11 Basic composition of amp.circuit with A.G.C.

$E_o = 0$ の時に最大利得（フルゲイン）

$E_o = V_r$ の時に利得は 0 となる。

(3) 式に (4) 式を代入すると (5) 式が得られる。

$$E_o = \frac{E_i \cdot k \cdot V_r}{1 + E_i \cdot k} \quad (5)$$

したがって、 E_i が十分に大きい時は、 $E_o = V_r$ となる。

②図-12 に示す入力換算ノイズと I F 段 f 特補正を考慮したモデルの場合。

通常の TV 受信機の I F 伝送帯域を B_o 、I F 補正で狭帯域化した実効伝送帯域を B_f とし、入力換算雑音を E_n とすると、出力 E_o は、(6) 式で表わされる。

$$E_o = G (E_s + E_n \sqrt{(B_f/B_o)}) \quad (6)$$

同様に (4) 式に (6) 式を代入すると、出力 E_o は (7) 式のように表わされる。

$$E_o = \frac{V_r \cdot k \cdot E_s + V_r \cdot k \cdot E_n \sqrt{(B_f/B_o)}}{1 + E_s \cdot k \cdot E_n \sqrt{(B_f/B_o)}} \quad (7)$$

③SN 改善に対する効果

出力での SN 比、 E_{os} / E_{on} を求める。

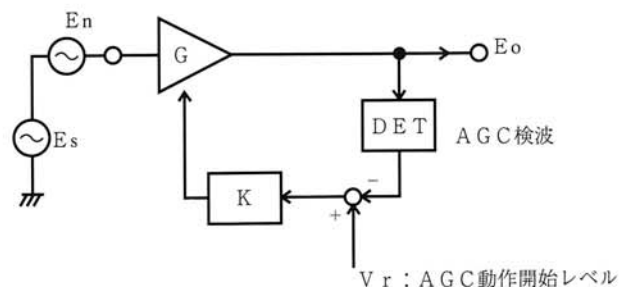


図-12 信号、雑音を考慮した増幅回路の構成
Fig.12 Composition by which signal and noise are considered

補正なし



補正あり



図-13 新方式の効果

Fig.13 Merit of new method

$$\frac{E_{os}}{E_{on}} = \frac{E_s}{E_n \sqrt{(Bf/B_o)}} \quad (8)$$

(8) 式から I F 段 f 特補正を使用すると S N 比を改善することができる。

④フルゲイン値 G_f と出力信号レベル E_{os} との対応について考える。

$$E_{os} = \frac{V_r \cdot k \cdot E_s}{1 + k \cdot (E_s + E_n \sqrt{(Bf/B_o)})} \quad (9)$$

ここで、 k がある程度以上大きくなると、出力信号レベル E_{os} は (10) 式に示す最大値 E_{osmax} に近づき、かつ、これを越すことはない。

$$E_{osmax} = \frac{V_r \cdot E_s}{E_s + E_n \sqrt{(Bf/B_o)}} \quad (10)$$

無信号状態、 $E_s \approx 0$ でも入力換算ノイズにより必要なフルゲイン G_f は決定される。つまり、 k は (11) 式を満足すれば良く、

$$k \cdot E_n \sqrt{(Bf/B_o)} \gg 1 \quad (11)$$

$$k \gg 1/E_n \sqrt{(Bf/B_o)} \quad (12)$$

$$k = G_f / V_r \text{ から} \quad (13)$$

$$G_f \gg V_r / (E_n \sqrt{(Bf/B_o)})$$

(13) 式から、補正時の帯域幅を小さくすると、通常の受信機に比べて最大利得を大きくできることがわかる。

3. 5. 4 新方式の動作

受信機の入力レベルが小さくなった事を検出して、I F 段 f 特補正回路を動作させる。

入力レベルの検出は、受信機の A G C (自動利得調節) 回路の A G C 電圧を基に行っており、I F 段 f 特補正の動作開始点を任意の入力レベルに設定可能である。フィ

ールド評価では、スノーノイズが目立ち始める入力レベルに設定し、良好な結果を得た。

I F 段で帯域制限を行うと、弊害として画面には映像のボケ (輪郭の不鮮明化) が現れる。これに対しては、検波後の映像信号を輪郭エンハンサに通し、I F 段 f 特補正に連動してビデオ周波数特性を補償することにより解決した。なお、I F 段での帯域制限により高域に分布する映像信号が失われ、細かい模様の映像の再現ができなくなるが、通常の車載用ディスプレイは 6 インチまでの液晶が主流であり、解像度の面から影響は無い。

3. 5. 5 新方式の効果

完成した新方式を試作機に搭載し、弱入力から中入力それぞれについて、実際のフィールドで現行機種と受信状態を比較して評価を行った。

弱電界では I F 段 f 特補正回路による帯域制限効果と映像キャリヤとカラーサブキャリヤそれぞれに対する増幅効果により、映像の S / N と色付きが改善する。これにより、現行機種に対し、受信エリアが拡大する。

中電界下におけるマルチパスに対しては、電波伝搬の条件により効果が異なる。条件の良いところでは、図-13 に示すように、乱れた映像を補正する事ができる。

しかし、映像キャリヤ周波数において、合成位相差 180 度、レベル差 0 d B に近い条件では、うまく補正できない。

4. あとがき

以上に述べたように T V 受信機の I F (中間周波数) 段で周波数特性を補正することにより受信性能を改善する方式を開発した。

受信アンテナ設置に対し、制約の多い車載環境におい

て受信サービスエリア拡大に有効であると思う。

しかし、中電界マルチパスの全ての電波伝搬条件に対して、改善効果を見出せなかったことに対しては、改めてこの課題の難しさを痛感している。

ユーザーの受信画質に対する要求は、今後さらに高くなると考えている。マルチパスによる受信障害の改善を含め、今後も受信画質改善に対する技術開発を進めていきたいと思う。

なお、今回の技術開発はトヨタ自動車(株)と共同開発で進めてきた。開発にあたり、協力を賜りましたトヨタ自動車(株)第一電子技術部の皆様に深く感謝します。

参考文献

- 1) 遠藤幸男 他：テレビ受信システムの手引き
コロナ社 (1981)
- 2) 佐々木玲一、宮崎栄一：テレビジョン
コロナ社 (1989)
- 3) NHKテレビ技術教科書(下)
日本放送出版協会 (1989)
- 4) 高山一男、菅原秀二、田中修：FM受信時のマルチパス雑音除去方式 富士通テン技報(1987 Vol. 5 No.2)

筆者紹介



菅原 秀二 (すがはら しゅうじ)

1977年入社。以来オートラジオ、カーテレビの新技术開発に従事。現在技術開発部在籍。



高山 一男 (たかやま かずお)

1976年入社。以来オートラジオ、カーテレビの新技术開発に従事。現在技術開発部プロジェクト課長。