

多目的 (AM/FM) 雑音除去 IC

Multi-function (AM/FM) Noise Reduction System

松 長 裕 数⁽¹⁾ 高 山 一 男⁽²⁾
Hirokazu Matsunaga Kazuo Takayama

要 旨

電波環境は年々悪化傾向にあり、種々の電波雑音が増加している。一方、車の高級化に伴いラジオの受信品質への要求は、より厳しくなっている。当社は、従来からこの要求に応え、より安定で高品質な音を提供するため、雑音除去に多大な努力を払ってきた。

今回、従来技術より一歩進めたAM/FMのパルス性雑音除去とマルチパス雑音除去方式を確立するとともにAM/FMの雑音除去回路の共通化を図ることにより、1チップのICで実用化した。

本稿では、AM雑音除去回路を主に、新方式の基本原理、効果について報告する。

Circumstances for electric wave is turning worse and also some wave noise have been increasing.

Along with the demand for deluxe car becomes stronger, the good reception is requested on car radios.

Regarding the noise reduction on car audio, FUJITSU TEN has been making big effort to create more stabilized and high sound quality in order to satisfy customers.

This time, we have newly established our own method for AM/FM pulse noise reduction as well as multipath noise reduction which have more advanced technology than current one and developed 1 chip IC by common design for noise reduction circuits on AM and FM.

This report gives explanation on basic theory and effect for new method comparing with current method based on AM noise reduction circuit.

(1)、(2) オーディオ共通技術部

1. はじめに

車載チューナは移動しながら受信するため様々な電波状態での受信性能が要求される。しかし、電波環境は年々悪化する一方でいろいろな雑音が増えてきている。

例えばAMでは新幹線や送電線によるパルス性雑音、FMではビル等での電波反射によるマルチパス雑音等がある。また車やバイクからのイグニッション雑音（パルス性雑音）はAM、FM共通の雑音であり、新しいエンジン程雑音が増える傾向にある。

これらの雑音対策として当社ではFMのパルス性雑音、マルチパス雑音には種々の雑音除去方式を開発、実用化しているが、AMは当社を含め全般的に対応が遅れている。しかし、近年AMのノイズ除去に対する要望が強くなってきている。

そこで、今回新たにAMのパルス性雑音除去方式を開発した。またFMのパルス性雑音、マルチパス雑音についても従来の方式に改善を加えAM雑音除去回路と回路の共通化を図り、AMのパルス性雑音とFMのパルス性雑音およびマルチパス雑音の除去を1チップで行う多目的雑音除去ICを開発した。今回はAMを中心に多目的雑音除去回路の動作および効果を説明する。

2. AM雑音除去回路

2. 1 AMのパルス性雑音

AMの代表的な雑音としては前述したようにパルス性雑音があげられる。例えば弱電界局を受信中、送電線の側を走った時、あるいは車の横をバイクが走った時、またトンネル内を走行中時などにパルス性雑音のためパリパリとかバリバリという不快な雑音が信号に混入する現象である。

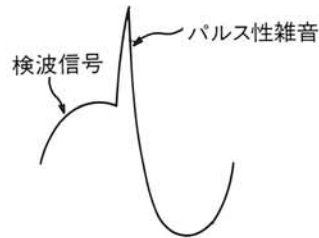


図-1 AMのパルス性雑音
Fig.1 AM pulse noise

これらの雑音信号は検波回路（DET）出力信号において図-1のような幅約0.2msの雑音信号となって現れる。

2. 2 従来の除去方式の問題点

パルス性雑音を除去するため従来より幾つかの方式が提案されている。そのうち代表的なものの概略を説明する。

図-2は従来のパルス性雑音除去回路の概略図である。またこの回路の各部の波形を図-3に示す。この回路は以下の3つの回路ブロックにより雑音除去動作を行う。

- ①雑音検出回路部
- ②雑音除去、前置ホールド回路部
- ③波形補間回路部

雑音検出回路はAMP、検波部（DET）、H.P.F.、レベル検出部で構成される。パルス性雑音が混入したとき検波部の出力信号をH.P.F.を用いてパルス性雑音の高調波成分のみを取り出す。そして次段のレベル検出部でゲート信号に整形する。このゲート信号が図-3(a)である。

雑音除去、前置ホールド回路部はゲート回路とコンデンサにて構成される。ここでは雑音検出回路出力のゲート信号によりゲート回路を開にし、パルス性雑音を除去する。この時コンデンサで除去前の検波レベルに保持する。その後パルス性雑

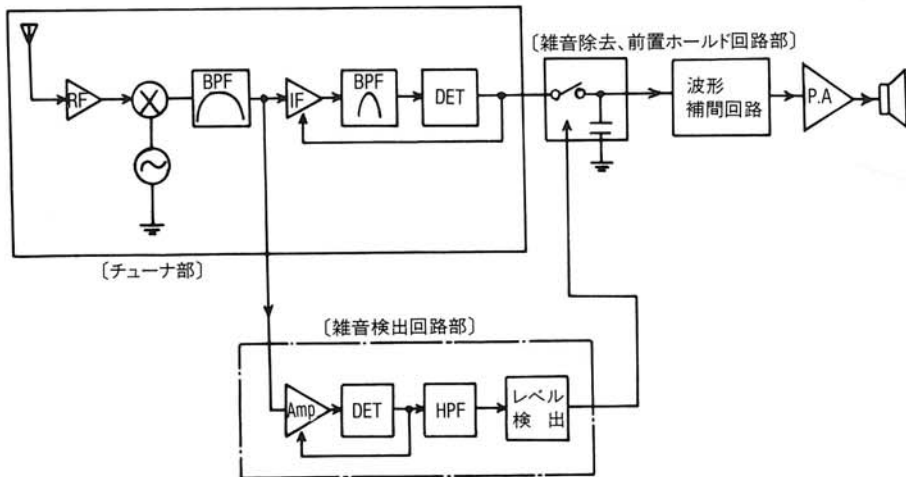


図-2 従来のAM雑音除去回路
Fig.2 Current circuit on AM noise riduction

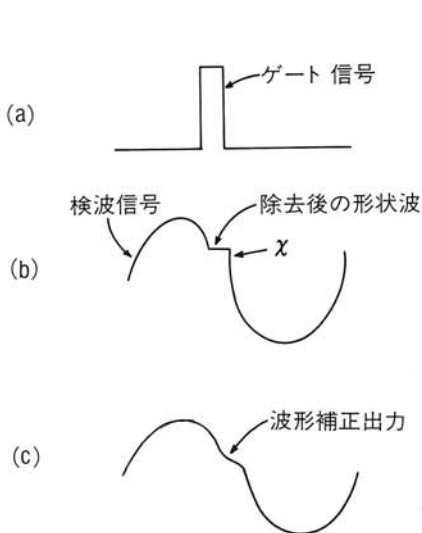


図-3 AM雑音除去回路の動作波形
Fig.3 Wave form on AM noise reduction circuit
音が無くなるとゲート信号が出なくなりゲート回路が閉となり元の信号に戻る。この処理信号を図-3 (b) に示す。

このままでは x で示す波形の鋭利な部分に含まれる高周波成分が耳障りとなる。そこで次段の波形補間回路により高周波成分を取り除き聞きやすいように信号処理を行う。この処理信号を図-3

(c) に示す。

しかし、この方式は次のような問題点がある。

- ①雑音検出回路部 — 中間周波数450kHzを増幅、検波するため検波による900kHzの高調波成分の影響でビート（ツイート）が発生する。
- ②雑音除去、前置ホールド回路部 — ゲート幅が固定のためパルス幅変化に対応できず余分な波形歪を生じる。
- ③波形補間回路部 — 補間信号が一定のため信号周波数が高い程、補間信号の歪が大きくなる。

2. 3 新開発AM雑音除去回路

2. 3. 1 概要

今回、新たにAM雑音除去回路を開発するにあたって従来の問題点をふまえて次のような構成とした。

- ①雑音検出回路部 — 通常の検波部の出力信号よりパルス性雑音を検出する方式とし、中間周波数の高調波によるビートが生じないようにする。

②雑音除去、前置ホールド回路部 — 雑音パルス幅に応じてゲート幅を変え余分な波形歪を無くす。

③波形補間回路部 — 可変低域フィルタを用いて信号の周波数成分に応じて最適補間処理を行い補間信号歪を抑える。また可変低域フィルタと同じ位相特性の可変位相器を用いて雑音除去ON-OFF切り換え時の歪を無くす。各部について以下の項で詳しく説明する。

2. 3. 2 雑音検出原理と検出回路

従来の除去方式の中間周波数に係わる問題を解決するため、チューナ部のエンベロープ検波部の出力信号からパルス性雑音信号を検出する方式とした。パルス性雑音はその性質上広帯域に分布するが、その大半はB.P.F.により除去される。よってB.P.F.を通過する成分のみが影響する。本項ではいかにしてその成分を検出するかについて説明する。

図-4はパルス性雑音混入時の変調信号のスペクトルを示す図である。図よりわかるように、上側帯波、下側帯波は搬送波に対して対称な位置にあるが、パルス性雑音は通常、搬送波に対して非対称の位置にあり、対称な位置にくることはほとんど無い。

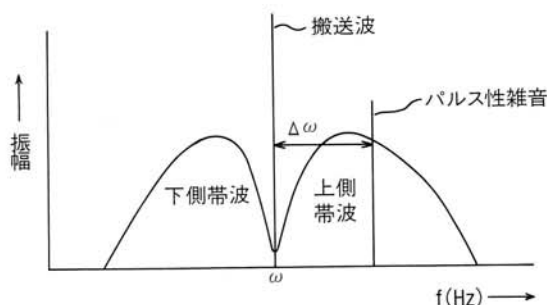


図-4 パルス性雑音混入時の変調信号スペクトル
Fig. 4 Spectrum of modulated signal with mixed pulse noise

いまパルス性雑音の信号 $V_E(t)$ を

$$V_E(t) = A_E \cos \{ (\omega + \Delta\omega) t + \phi_o \} \quad (1)$$

とすると振幅変調波 $V_{AME}(t)$ は

$$\begin{aligned} V_{AME}(t) &= V_{AM}(t) + V_E(t) \\ &= (A - A_E) \cos (\omega t + \phi_o) \cdots \text{搬送波} \\ &\quad + \frac{1}{2} A \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \{ (\omega + np)t + \phi_o + \phi_n \} \cdots \text{上側帯波} \\ &\quad + \frac{1}{2} A \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \{ (\omega - np)t + \phi_o - \phi_n \} \cdots \text{下側帯波} \\ &\quad + A_E [\cos (\omega t + \phi_o) + \cos \{ (\omega + \Delta\omega) t + \phi_o \}] \cdots \text{パルス性雑音} \end{aligned} \quad (2)$$

ここでパルス性雑音変調波 $\Delta V_E(t)$ は

$$\begin{aligned} \Delta V_E(t) &= A_E [\cos (\omega t + \phi_o) + \cos \{ (\omega + \Delta\omega) t + \phi_o \}] \\ &= 2 A_E \cos \{ (2\omega + \Delta\omega) t + 2\phi_o \} \\ &\quad \times \cos (\Delta\omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

となる。

ここで、

- A_E : 変調信号の振幅
- P : 変調信号の角周波数
- ϕ_n : 変調信号の初期位相
- A : 搬送波の振幅
- ω : 搬送波の多周波数
- ϕ_o : 搬送波の初期位相

図-5は(2)式のパルス性雑音の影響を受けない変調、復調信号である。図(a)は(2)式の搬送波、上側帯波、下側帯波の変調信号、図(b)はエンベロープ検波により復調された信号である。

図-6は(2)式のパルス性雑音の影響を受ける復調出力 (ΔV_E) を図示している。

図-5および図-6(b)のエンベロープ検波された復調信号を比較すると、図-5の波形は連続的に変化しているが図-6は下降から上昇に変わる点で不連続に変化する。この違いは図-5は変

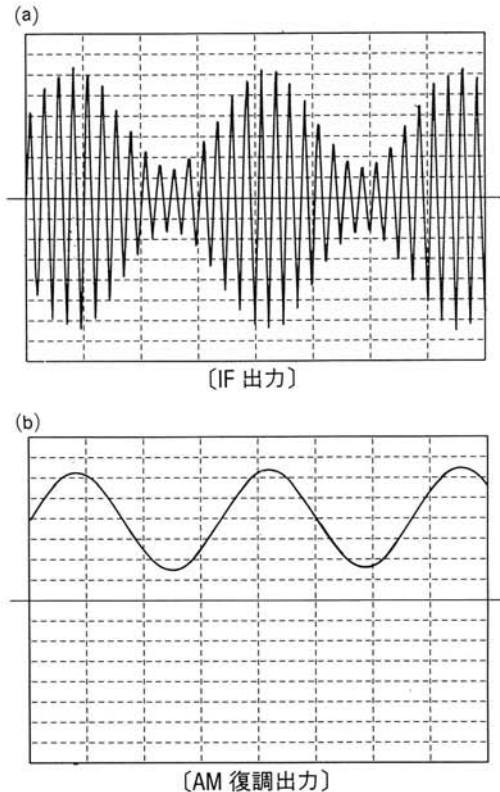


図-5 AM変調波に対する出力
Fig.5 Output on AM detector

調信号が搬送波の周波数に対して対称な両側帯波を生じるのに対して図-6はパルス性雑音は搬送波の周波数に対して非対称に生じるからである。

パルス性雑音の影響を受けたエンベロップ検波信号のうち不連続点ではパルス性雑音に対して高調波成分を含むため、パルス性雑音がある場合の復調信号のスペクトルは図-7のようになる。よってこの高調波成分を検出することによりパルス性雑音を検出できる。

この高調波成分を検出するためH.P.F.を用いるが、このとき極力小さいパルス性雑音から検出するのは勿論のこと、以下の点に注意する必要がある。

- ①信号成分を検出しないこと
- ②隣接局の信号を検出しないこと

隣接放送局の周波数の間隔は、日本では9 kHz、

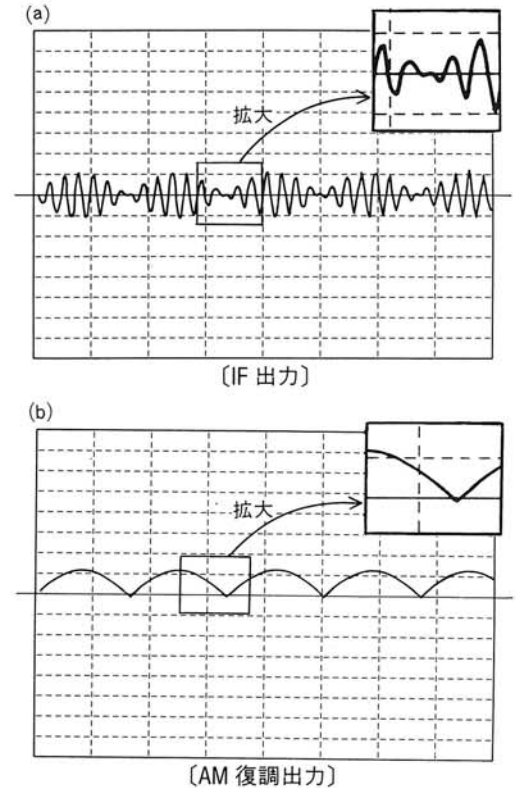


図-6 雑音に対する出力
Fig.6 Output on pulse noise

米国では10kHzであるからこの周波数以上の成分を検出するH.P.F.を構成すれば、上記の問題は解決できる。

この雑音検出方式を用いることにより、従来方式のように中間周波数の高調波のビート問題が生じることなく、パルス性雑音を検出することができる。

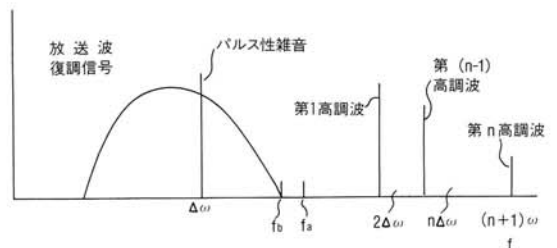


図-7 パルス性雑音がある時の復調信号のスペクトル
Fig.7 Spectrum of demodulated signal mixed pulse noise

2. 3. 3 雑音検出時間可変回路

パルス性雑音が混入したとき図-1に示ような波形となって検出力信号に現れる。この雑音信号の幅は帯域フィルタの特性とパルス性雑音および信号の入力レベルによって決まる。パルス性雑音と信号入力レベルは変化するため、パルス幅も変化する。これを固定のゲート幅で対応しようとする次の問題が発生する。

- ①ゲート幅が狭いと大きなパルス性雑音が入ったとき途中で雑音除去動作を解除してしまう。
- ②ゲート幅が広いと常に余計な波形歪を生じてしまう。

従来方式はゲート幅固定のため①の問題点を重視してゲート幅を広くとっていた。このときの各部の波形を図-8に示す。(a)はDETの出力波形、(b)はH.P.F.の出力波形、(c)はレベル検出部内の波形でH.P.F.の出力レベルが $\pm V_r$ 以上で短形パルスを出力する。(d)はレベル検出部の出力波形である。図から分かるように常に、

$\tau_B = \tau_1 + \alpha$ の分だけ余分な波形歪を生じている。

そこでレベル検出部を次のような構成にすることによりゲート幅を可変できるようにした。

- ①H.P.F.出力を正負の信号に分割し、各々ピークレベルを保持するようにする。
- ②上記①の正負信号の差をとり1つのパルス信号に整形する。
- ③上記②の信号が基準値以上の間ゲート信号を出力する。

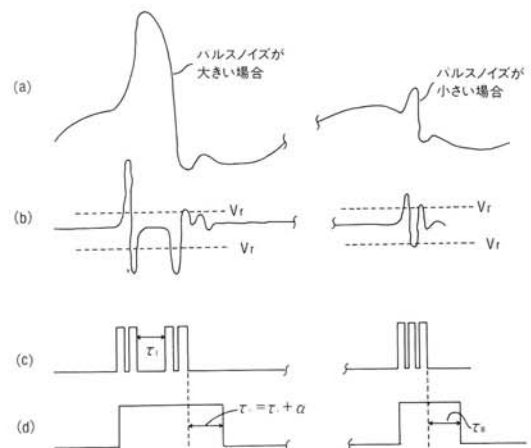


図-8 従来の雑音検出回路の各部の波形
Fig. 8 Wave form on current noise detector circuit

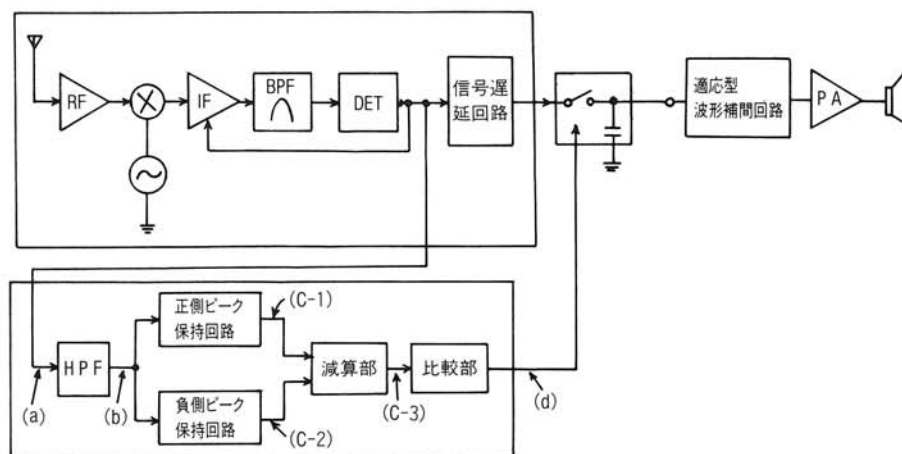


図-9 新開発雑音検出回路部
Fig. 9 New noise detector circuit

図-9は新開発AM雑音検出回路部を示す。図-10は新開発AM雑音検出部の各部の波形を示す。図(a)は検波部、図(b)はH.P.F.部、図(c-1)図(c-2)は保持減衰部、図(c-3)は減算部、図(d)は比較部の出力信号である。

この方式であればゲート時間に τ_B を設ける必要はなく、またパルス性雑音の波高によりゲート信号幅が可変できるため従来のように余計な波形歪を生じることなく最適なパルス性雑音除去を行うことができる。

2. 3. 5 適応型波形補正回路

図-3(c)に示すようにパルス性雑音の混入をゲート回路により除去しただけでは高調波が非常に耳障りである。

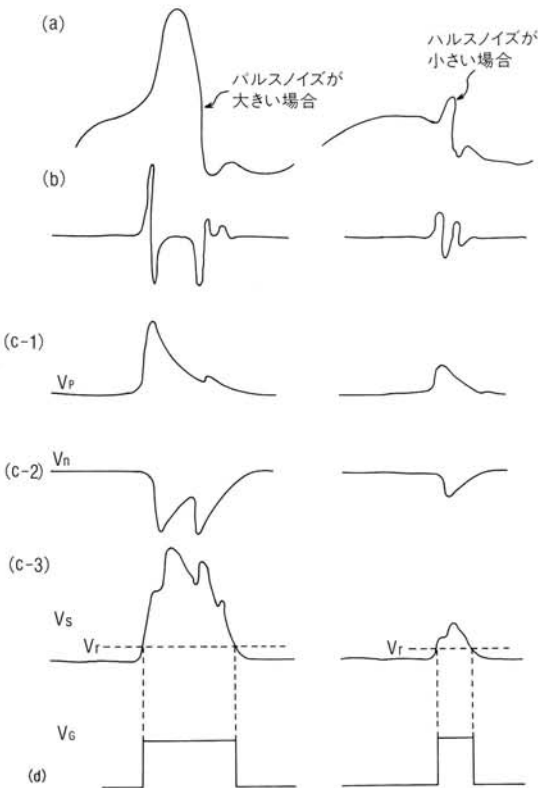


図-10 新開発雑音検出回路の各部の波形

Fig.10 Wave form on new noise detector

そこで図-11に示すように可変低域通過フィルタ(可変L.P.F.)と可変位相器(可変P.S.)を切り換え、高調波を除去し耳障りな成分を減少させると共に、信号成分の損失を極力抑えるようにした。これは次のような動作を行う。

- ①パルス性雑音が混入した時間のみ可変L.P.F.の信号を使用する。
- ②上記①以外は可変P.S.の信号を使用する。
- ③可変L.P.F.のカットオフ周波数は信号成分に応じて常時変化させる。
- ④可変L.P.F.と可変P.S.は常に同じ位相特性とする。

図-2(c)の前置ホールド部の高調波成分を取り除くには低域通過フィルタ(L.P.F.)を使用するのが効果的である。しかし、L.P.F.を用いればカットオフ周波数より高い成分も同時に損なわれてしまう。そのためL.P.F.処理を行う時間は極力短く、またカットオフ周波数は信号成分に応じてかえる必要がある。

しかし、パルス性雑音が発生している時間にL.P.F.処理を行うと位相遅れを生じるためそのまま元の信号に切り換えると波形歪を生じる。これを回避するためL.P.F.と同じ位相特性を持つ位相器(P.S.)に切り換えたあと徐々に元の信号に切り換えるようにした。

図-12に波形補正回路の各部の波形を示す。図(a)はゲート回路の出力、図(b)は可変L.P.F.の出力信号である。可変L.P.F.により図(a)の前置保持部の高域成分を除去しているが Δt の時間遅れができる。図(c)は可変P.S.の出力信号である。可変L.P.F.に合わせて図(a)のゲート出力信号に較べ Δt だけ時間遅れがある。また図-13の周波数特性により図(a)の前保持の平坦部では波形が下降し、前置保持の下降部では高周波成

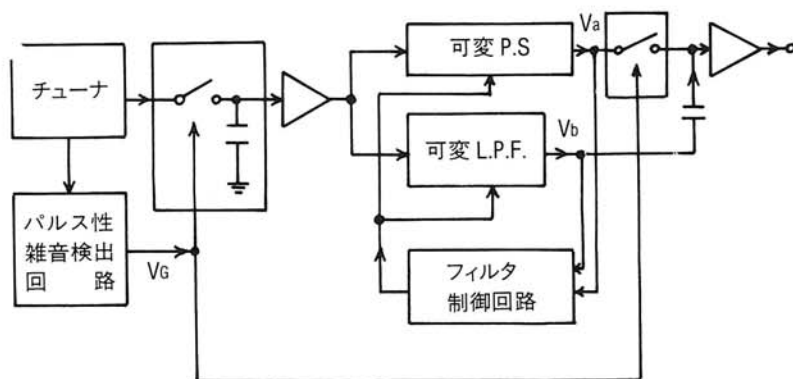


図-11 適応型波形補間回路

Fig.11 Adaptive wave form compensation circuit

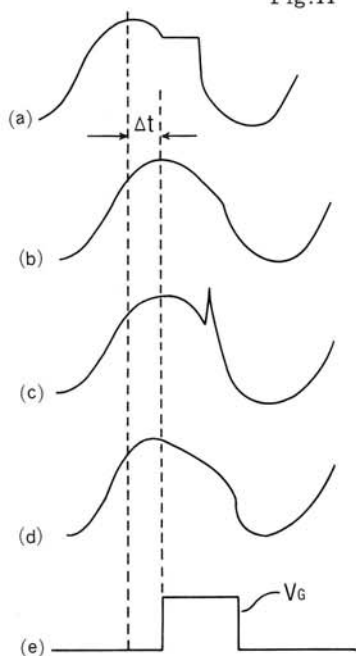


図-12 適応型波形補間回路の各部の波形

Fig.12 Wave form on adaptive wave form compensation

分で位相反転量が大きくなるため急峻に立ち上がる。図 (d) は図 (e) のパルス性雑音検出回路のゲート信号により可変 L.P.F. と可変 P.S. を切り換えた結果の信号である。図からわかるように補間信号の鋭利な部分を取り除き元の波形に近づけている。

次に L.P.F. のカットオフ周波数の可変方法に

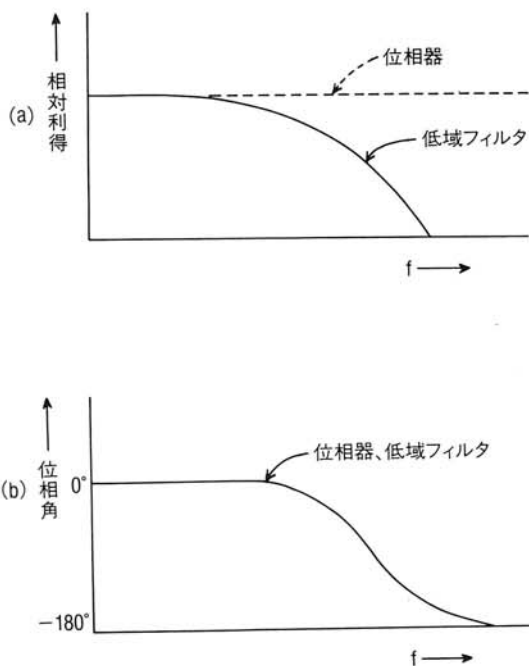


図-13 低域フィルタ、位相器の周波数特性

Fig.13 Frequency response on L. P. F. & P. S.

について説明する。図-13に示すように可変 P.S. は全帯域の信号を減衰なく通過させ位相可変に対して振幅一定であるが、可変 L.P.F. はカットオフ周波数変化に対して振幅が変化する。そこで可変 L.P.F. 出力と可変 P.S. 出力とが誤差許容値を除いて振幅が一致するよう可変 L.P.F. のカッ

トオフ周波数を制御するフィードバックループを構成する。この誤差許容値は音楽、音声、パルス性雑音の性質、聴感特性より総合的に決定する。また信号の周波数成分は微小時間の変化ではほぼ同じであることを利用してL.P.F.のカットオフ周波数はパルス性雑音混入直前の信号成分により決める。

これらの波形補正方法は、従来当社においてFMマルチパス対策に用いていた回路の原理をAMに使用できるよう変更し、また改良したものである。

以上説明したように雑音検出回路、雑音除去、前置ホールド回路、波形補間回路各々に新たな方式を用いることで非常に効果的なAM雑音除去回路を開発することができた。

3. FM雑音除去回路

3. 1 FMの雑音

FMの雑音としてはパルス性雑音とマルチパス雑音があげられる。パルス性雑音に関してはAM同様、車の側をバイクが走ったとき、またトンネル内を走行中等にチリチリという不快な雑音が混入する。但し、IFフィルタの特性の差で検波出力での雑音の幅は約数 μ sとAMに較べて非常に短いため雑音の周波数成分は高い。また、マルチパス雑音は直接波とビル、山、車両等で反射した

反射波の干渉により生じる位相歪や振幅歪によるもので走行中に間接的にザッザ、バサバサといった不快な音が混入する現象である。

3. 2 新開発FM雑音除去回路

3. 2. 1 パルス性雑音除去回路

従来のパルス性雑音除去回路(P.N.L.回路)同様パルス性雑音を検出してゲート回路を開くことにより雑音除去を行っている。

しかし、従来はLch、Rchが合成されているコンボジット信号で1つのゲート回路で除去を行っていたのに対し、今回はLch、Rch各々独立のゲート回路で雑音除去を行っているためステレオ時の雑音除去効果が向上する。

3. 2. 2 マルチパス雑音除去回路

当社従来開発の適応型波形補間方式に加え、マルチパス雑音のパルス性成分を抑圧する新開発のパルス抑圧回路を用いることにより、雑音除去効果の改善を図っている。

また、従来の適応型波形補間方式はLch、Rch同一の1回路で行っていたのに対し、今回はLch、Rch各々独立で行うことにより雑音除去時にもステレオ感(セパレーション)を残している。

図-14に新開発FM雑音除去回路の概略図を示す。ゲート回路、適応型波形補間回路については従来方式の改善のため説明を省きここではパルス抑圧回路について説明する。

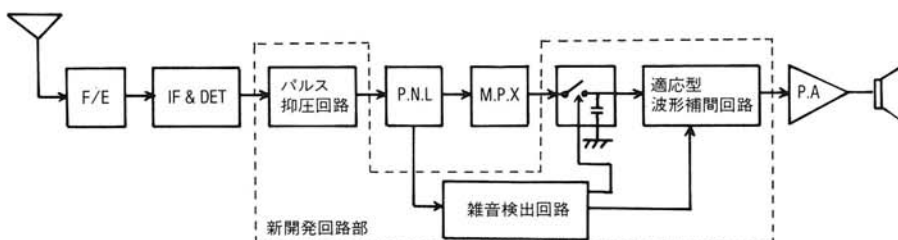


図-14 新開発FM雑音除去回路

Fig.14 New FM noise reduction circuit

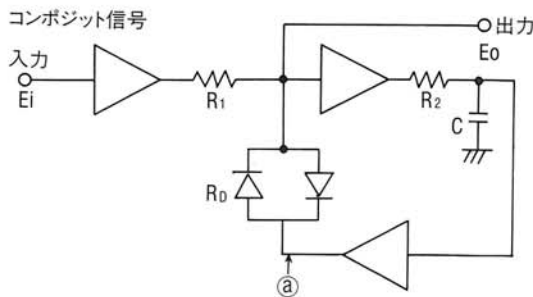


図-15 パルス抑圧回路概略図

Fig.15 Block diagram of pulse noise suppression circuit

図-15にパルス抑圧回路の概略図を示す。この図からわかるようにパルス抑圧回路はL.P.F.回路とダイオード帰還回路で構成される。

この回路の入出力特性は、

$$E_o = E_i \frac{1}{1 + j\omega CR_2 (1 + R_1/R_D)} \quad (4)$$

となる。

この式において抵抗値 R_D はダイオードの両端電圧がクランプ電圧 (V_D) 以下のときは無限大である。また両端電圧が V_D 以上になると R_D は小さくなり R_1/R_D が大きくなって等価的に大きな時定数のフィルタとなる。

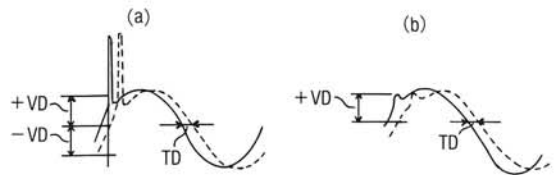


図-16 パルス抑圧回路動作図

Fig.16 Operational diagram of pulse noise suppression circuit

回路の出力波形を図-16に示す。図(a)は帰還回路がないとき、図(b)は帰還回路があるときである。実線は出力波形、点線は①点の波形である。ダイオードの両端電圧が V_D 以上になるとレベルが抑圧される。

またこの回路のL.P.F.のカットオフ周波数の選び方でパルス性雑音の抑圧レベルを決めるとともにコンポジット信号の高域成分のL-R信号の通過量を決めることになる。これは同時にセパレーション量を決めることになる。この回路をマルチパス雑音混入時に動作させることによりマルチパス雑音のパルス性雑音成分を軽減する。同時に、マルチパス雑音時のセパレーションはこの回路のL.P.F.の特性により決まることになる。

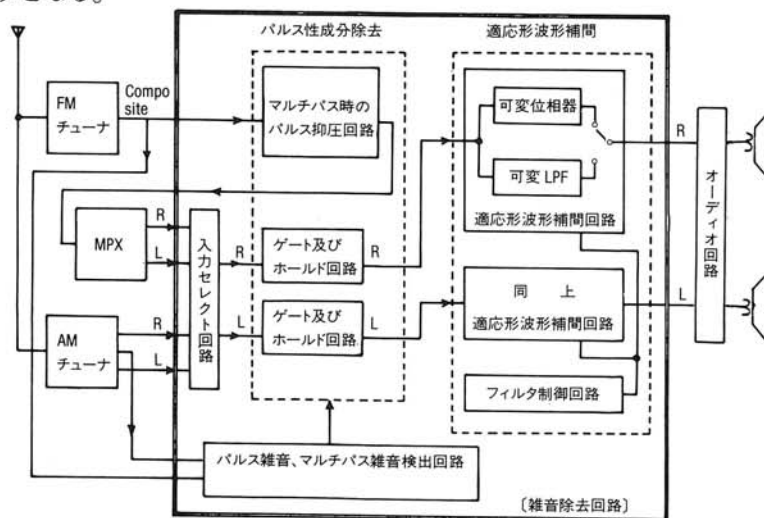


図-17 多目的雑音除去回路

Fig.17 Multi-function noise reduction circuit

3.3 IC化のための回路構成

従来よりAM、FMの雑音除去ICは数多く存在する。しかし、どちらにも使える雑音除去ICはなかった。

今回はAM、FMともオーディオ信号で雑音除去、波形補間を行っているため、ほぼ同じ回路で行うことができる。そこで今回のAM/FM雑音除去回路を多目的(AM/FM)雑音除去回路と称している。

多目的雑音除去回路の全体ブロックを図-17に示す。FM用のパルス抑圧回路以外は共通化している。但し、各々の使用条件に応じて各回路の使用条件設定を変えるようにしている。例えばAMでは雑音除去、前置ホールド回路と波形補間回路を連動して動作させるがFMにおいては、波形補間回路はマルチパス雑音時のみ動作させる。またAMとFMとでは放送内容の傾向が異なるため、可変L.P.F.の特性を変えている。

このような対応を行うことでAM、FM各々の雑音除去特性を損なうことなく回路を共通化し、

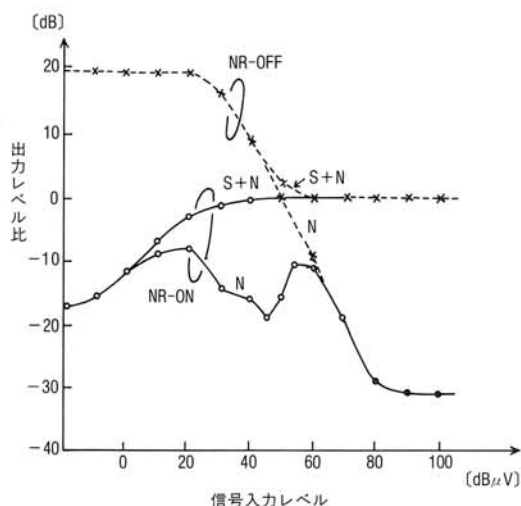


図-18 AM雑音除去回路S/N特性

Fig.20 S/N characteristics in AM noise reduction circuit

回路規模の低減を図ることができた。

3.4 効果について

図-18にAMでの多目的雑音除去回路のパルス性雑音混入時のS/N特性、図-19に入出力波形を示す。パルス性雑音の波高値が高いため、表示レンジを変えている。この図よりわかるように出力波形においては、ほぼパルス性雑音が無くなっている。実際の放送波ではパルス性雑音により放送が打ち消され内容を聞き取ることができなかった状態からほぼ雑音を気にすることなく内容を聞くことができるレベルまで改善される。

図-20にFMでの多目的雑音除去回路のマルチパス混入時の入出力波形を示す。この図からわかるようにマルチパス雑音は無くなり元の波形(正

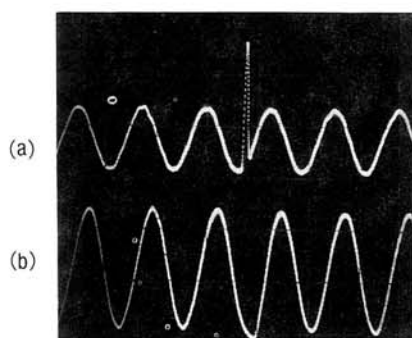


図-19 多目的雑音除去回路入出力波形 (AM)

Fig.20 Input & output wave form on multi-function noise reduction circuit (AM)

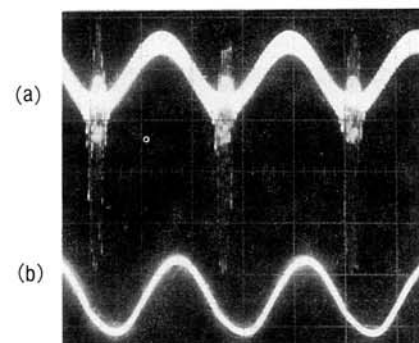


図-20 多目的雑音除去回路入出力波形 (FM)

Fig.20 Input & output wave form on multi-function noise reduction circuit (FM)

弦波)に近いところまで波形補間されている。実際の放送波では、マルチパス雑音が耳障りであった場所においても注意深く聞かなければ雑音が気にならない程度に改善される。

4. あ と が き

以上述べたようにAMのパルス性雑音、FMのパルス性雑音及びマルチパス雑音の効果的な方式の開発及び回路のIC化を行うことができた。

しかし、ラジオに混入する雑音は、この他にも、非パルス性の種々の雑音がある。受信性能に対するユーザの要求はますます高度化しており我々としては、これらの要求に応えるべく今後も技術開

発に努力していきたい。

参 考 文 献

- 1) 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、Vol 5、No. 2 (Oct.1987)
- 2) 高山一男、谷吉淳：歪軽減回路、特許公報、昭和63-9773
- 3) 高山一男、松長裕数：AM受信機におけるパルス性雑音検出回路、平成3年特許出願第32635号