

新AMノイズキャンセラ

New AM Noise Cancellor

高野 浩輔
Kohsuke TAKANO

珍田 武志
Takeshi CHINDA

平 正明
Masaaki TAIRA

荻野 和滋
Kazushige OGINO

要旨

近年、環境問題への対応から電気自動車やハイブリッド車の普及が進むなど、車両の電動化が加速している。それに伴い駆動系電子部品から発生する電磁波ノイズがほかの車載電子機器におよぼす影響が増大している。中でも車載 AM ラジオはノイズの影響を受けやすい電子機器であり、対策技術の開発が望まれている。車載ラジオ受信機を開発する当社では、ノイズを受ける側での対策を行うことで、ラジオの受信品質の維持向上に取り組んでいる。

この稿では、車両の電動化に伴い問題が顕著になってきているビートノイズおよびランダムノイズに対する低減方式を例に、それらの方式の概要や低減効果について説明し、当社の AM ラジオ向けノイズ低減技術についての取組みを紹介する。

Abstract

Recently, electrification of vehicle such as the consistent popularization of electric vehicle and hybrid vehicle is accelerating because of responding to environmental problems. Accordingly, the effects on other in-vehicle equipment by electromagnetic wave noise generated by drive-system electronic parts increase. Especially, an in-vehicle AM radio receiver is electric equipment which is easily affected by noise, and development of countermeasure technology for that is expected. DENSO TEN who develops an in-vehicle radio receiver works on maintenance and improvement of the radio receiving quality by the countermeasure on the side of receiving noise.

In accordance with the electrification of vehicle, beat noise and random noise become a remarkable problem. In this paper, we explain outline of the method and the effect of the reduction of noises above as examples, and we introduce our efforts toward noise reduction technology for DENSO TEN AM radio receiver.

1. はじめに

近年、環境問題への対応から電気自動車（以下、EV）やハイブリッド車（以下、HV）の普及が進むなど、車両の電動化が加速している。それに伴いモータやインバータなどの駆動系電子部品から発生する電磁波ノイズ（以下、ノイズ）がほかの車載電子機器におよぼす影響が増大している。

中でも AM ラジオ受信機は比較的低い周波数の放送帯域を使用するためノイズの影響を受けやすい。AM ラジオの技術は 100 年程前に生まれたものであるが、現在でも多くの車両に標準搭載される機能である。ノイズの影響が増大する今日の車両環境では、ノイズを出す側で行う対策の難易度は増してきており、車載ラジオ受信機を開発する当社では、ノイズを受ける側での対策を行うこと

で、ラジオ品質の維持向上に取り組んでいる。

この稿では、AM ラジオ向けのノイズ低減技術についての取組みを幾つか紹介する。

2. ノイズ混入のメカニズムとその影響

車両に搭載されたノイズ源からラジオへのノイズ混入のメカニズムはさまざまであるが、一例を紹介する。

EV/HV では走行する際に、インバータが駆動用バッテリーからの直流を交流に変換してモータを駆動する。その際に大電流の ON-OFF スイッチングが高速で行われ、ノイズが発生する。このノイズはインバータだけでなく、インバータに接続されるケーブルや部品にも伝導し、それらからもふく射される。このふく射ノイズの一部がリアガラスやルーフ上のラジオアンテナに混入する（図 1）。

ラジオアンテナに混入したノイズは、ラジオ受信機において放送波とともに音声に変換される。特に AM ラジオでは放送波が振幅変調（AM）であるため、混入したノイズが音声に変換されて異音となりやすい。

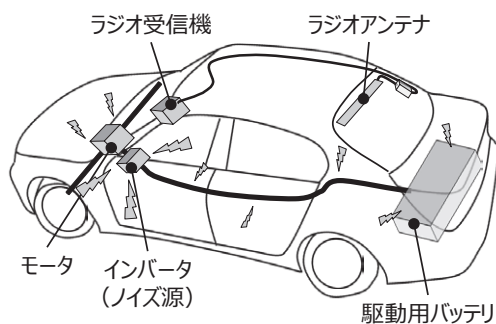


図 1 ラジオアンテナへのノイズ混入イメージ

3. ノイズの種類

ラジオ受信機に混入するノイズを時間領域および周波数領域の特徴で分類すると、パルスノイズ、ランダムノイズ、ビートノイズの三種類に大別される。その特徴を表 1 に示す。

表 1 ノイズの分類と特徴（IF 信号）⁽¹⁾

ノイズ分類	時間領域の特徴	周波数領域の特徴	ラジオ再生音
パルス	短時間で突発的に発生 	フラットな分布 	ポツポツ
ビート	一定周期のサイン波 	特定の周波数にピーク 	ビー
ランダム	フラットな分布 	フラットな分布 	ザー

* ⁽¹⁾ IF: Intermediate Frequency（中間周波数）ラジオ受信機内部での信号

4. ラジオ受信機でのノイズ低減技術

4.1 ノイズの種類に応じた低減技術

当社では、ラジオ受信機でのノイズ低減技術として、複数の方式を開発してきた。表 2 に現在までに開発したノイズ低減方式の一覧を示す。

表 2 当社で開発した AM ラジオノイズ低減方式一覧

ノイズ種別	方式	特徴	製品化への課題（コスト・性能）
パルス	時間領域補間	時間領域でノイズ検知し補間	—
ビート	適応等化	同期検波後のQ成分に現れるノイズ成分を利用	電波環境悪化時の音質変化
ランダム	ノイズサプレッション	時間領域でノイズ検出し、信号全体を抑圧	ノイズ低減効果と音声信号の抑圧防止の両立
	ピックアップ	ピックアップアンテナのノイズ信号を逆相合成	ピックアップアンテナの追加搭載が必要

パルスノイズに対しては、時間領域でピークが発生する特徴を利用し、ノイズ区間を検出し補間を行う方式が有効である。パルスノイズはガソリン車の点火ノイズなどとしても発生していたため、その低減方式は以前から当社製品にも搭載され市場での実績も十分ある。

ビートノイズは、周波数領域で特徴的な波形となり、その特徴を利用した方式が考えられる。車両の電動化に伴いランダムノイズとともに問題が顕著になってきているが、まだ画期的なノイズ低減方式は実用化されていないため今回新たに開発を行った。この方式を適応等化方式と呼び、4.2章にて詳しく紹介する。

ランダムノイズは、時間領域および周波数領域で特徴がなく、ノイズだけを低減することが困難である。例えばノイズの発生区間を時間領域で検出して信号全体を抑圧する方式が考えられるが、ノイズ低減時に音声も抑圧してしまうため、その低減効果は限定的である。そこで、ノイズふく射源の近傍にアンテナを設置し、取得したノイズを利用して低減する方式も新たに開発している。この方式をピックアップ方式と呼び、4.3章にて詳しく紹介する。

従来のパルスノイズ低減方式に加え、ビートノイズおよびランダムノイズ低減方式を追加したAMラジオ受信機の構成ブロック図を示す（図2）。ピックアップ方式は中間周波数（IF）信号で処理し、適応等化方式は検波および検波後の音声信号で処理をする。

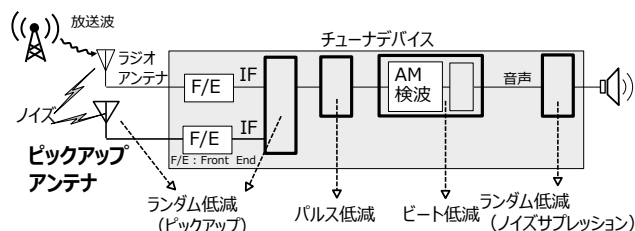


図2 ノイズ低減方式を含めたAMラジオ受信機の構成ブロック図

4.2 ビートノイズ低減技術

4.2.1 概略

ビートノイズ低減のための、適応等化方式について説明する。

振幅変調された信号を復調する方式として、包絡線検波と同期検波がある。包絡線検波は比較的簡易な手法であるため、これまで広く行われてきた検波方法であるが、混入したノイズはそのまま音声として出力されてしまう。一方、同期検波は次に述べるようにノイズを分離することができる。

同期検波では送信時の搬送波に同期した正弦波（周波数と位相が同一の正弦波）を生成し、入力信号に対して乗算した同相I成分（In-Phase）と、同期したものとは90°位相が異なる正弦波を乗算した直交位相Q成分（Quadrature-Phase）を生成する。ノイズが混入した信号を同期検波した場合、I成分には音声信号とノイズが混合されたものが、Q成分にはノイズだけが現れる（図3）。このようにノイズを分離できる理由は、音声情報が位相ではなく振幅にだけ乗せられているためで、振幅変調の音声情報はI成分にだけ現れることに由来する。

同期検波により分離したQ成分のノイズをI成分から減算する際には適応フィルタを用いた。適応フィルタとは入力信号に応じて適応的に特性を更新するフィルタであり、最終的にI成分に含まれるノイズだけを低減する特性になる。

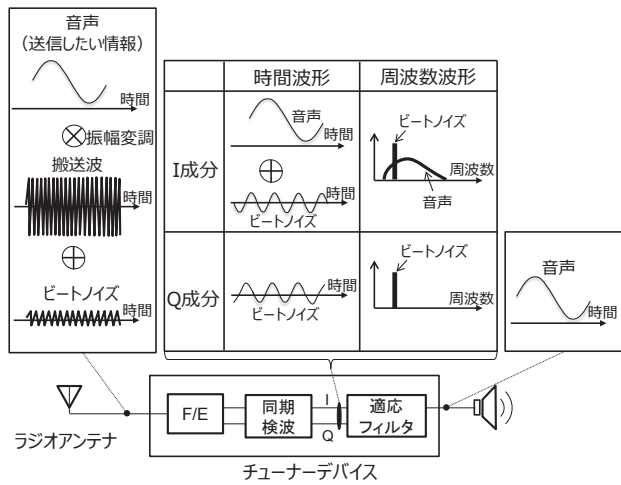


図3 適応等化方式の概念図

当社ではこの技術を基に、製品としての性能を確保するため、ビートノイズ低減性能の向上と、フィールド環境への適応を NXP Semiconductors N.V.(以下、NXP 社)および Catena Holding B.V. (以下、Catena 社) と協力して品質改善を行った。

4.2.2 開発技術の効果

実際の車両におけるノイズ低減効果例を図4に示す。ノイズ低減処理無（青線）に比べて、適応等化方式を用いたノイズ低減処理有（赤線）は、音声成分に抑圧などの変化はなく、ノイズだけを低減できていることがわかる。

これはノイズ低減効果の一例である。さまざまなタイプのビートノイズに対して適応可能とするため、車両ノイズの調査結果などから得られたノイズの特徴や挙動をモデル化して、効果を検証している。例えばノイズの周波数に変化する場合の追従性能や、複数のノイズが存在する場合の性能確保を実施している（図5）。

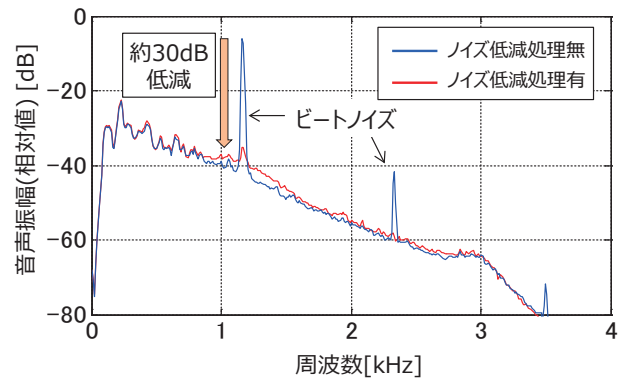


図4 ビートノイズ混入時の音声出力信号スペクトル

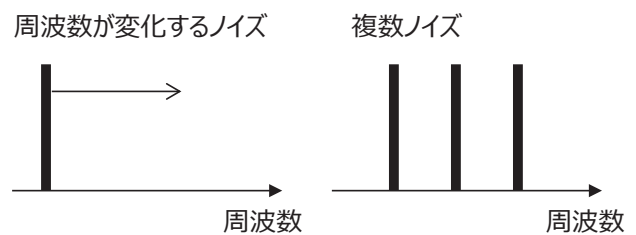


図5 低減効果を確認しているビートノイズの例

4.2.3 フィールドへの適用

当社では、懸念されるフィールド環境条件を事前に洗い出し、対応策を施していった。適応等化方式は、同期検波のI成分とQ成分を使ってノイズ推定が正しく行われることが前提となる。しかし次の三つの環境条件では、同期検波に必要な搬送波と同期した正弦波をチューナデバイス内で作ることが困難になる。

- ①電界強度が弱いとき
- ②搬送波の位相変化が速いとき
- ③同一周波数の搬送波が存在するとき

環境条件③の例としてSFN (Single Frequency Network) が挙げられる。SFNは複数地点の送信アンテナから同一の周波数で同一の放送波が送信される環境である。複数の送信アンテナからの電界強度がほぼ等しいエリアでは、位相の異なる複数の搬送波が合成された環境となる（図6）。そのため、両方の搬送波に同期することはできない。

これらの環境では、同期検波後のQ成分に音声成分が漏れ込んでしまい、ノイズ低減処理を実行

すると、音声信号レベルの減衰や音質の変化が懸念される。

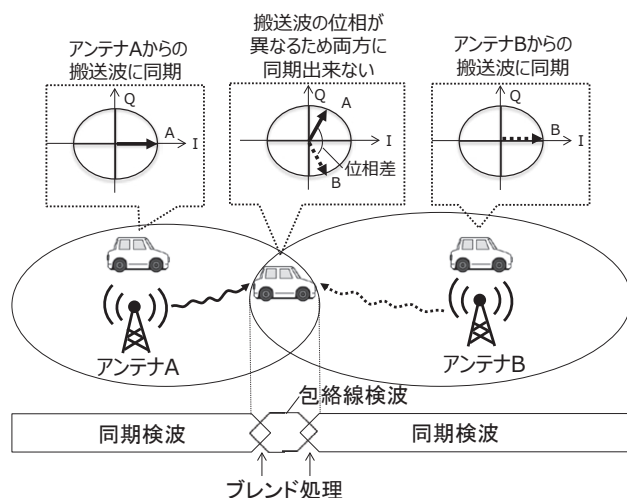


図6 SFN環境と検波切替処理イメージ

このような、搬送波に同期ができない環境には、包絡線検波に切替えるブロックを追加することで対応した（図7）。包絡線検波は、搬送波に同期する必要がない検波方式であり、音声信号の変化を防ぐことができる。切替時はブレンド処理を用いて違和感をなくし、切替閾値や切替時間についてはベンチおよびフィールド環境でチューニングした。

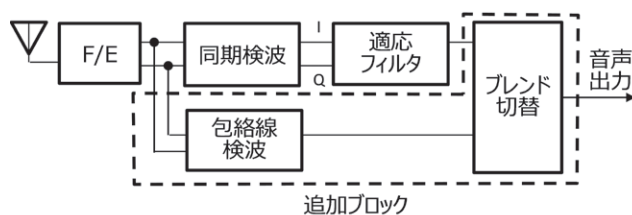


図7 適応等化方式のブロック図

4.3 ランダムノイズ低減技術

4.3.1 概略

次に、ランダムノイズ低減のために開発した、ピックアップ方式について説明する。この方式のブロック図を図8に示す。ピックアップアンテナをノイズふく射源の近傍に設置し、取得したノイ

ズの位相と振幅を調整し、放送波に混入しているノイズを打ち消すように合成（逆相合成）して出力する。位相と振幅の調整は制御部で行い、適応的に制御することで最適な逆相合成になるよう制御を行う。この方式は、ノイズを分離して取得するので、搬送波が完全にノイズに埋もれてしまうような高いレベルのノイズに対しても効果が期待できる。

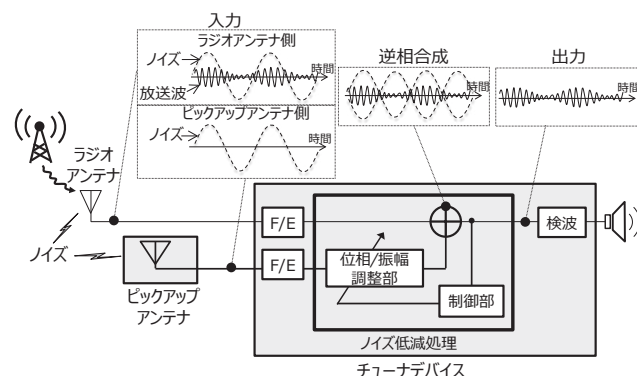


図8 ピックアップ方式のブロック図

4.3.2 開発技術の効果

実際の車両におけるピックアップ方式を用いたノイズ低減効果例を図9に示す。ノイズ低減処理無（青線）に対し、ノイズ低減処理有（赤線）は、広い周波数帯域でノイズ低減できている。また、車両のノイズ発生源を動作させずノイズが発生しない状態で取得したノイズ印加なし（緑線）と同等のレベルまで低減できていることがわかる。

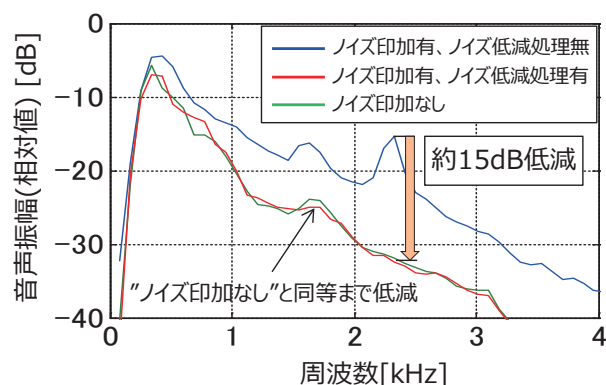


図9 ランダムノイズ混入時の音声出力信号スペクトル

4.4 今後の予定

ビートノイズ低減のための適応等化方式はフィールド評価も完了し、次期モデルの製品へ搭載を予定している。一方、ランダムノイズ低減のためのピックアップ方式については、試作機を開発し車両からのノイズに対する効果を確認している。今後は、製品化に向けてフィールド評価などを実施していく予定である。

5. おわりに

今回、新たに AM 用のビートノイズおよびランダムノイズ低減方式を開発することができた。その結果、すでに実用化済の方式と合わせ、分類した三種のノイズ全てに対する低減技術を開発することができた。ビートノイズ低減方式については、今回製品化の段階まで開発が進んでおり、今後も引き続き全方式の製品化に取り組むことで、お客様の快適性の向上に寄与できる技術開発を行っていききたい。

最後に、NXP 社および Catena 社をはじめ、ご協力いただいた関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

筆者紹介



高野 浩輔
たかの こうすけ

SS 技術本部
ミドルウェア技術部



珍田 武志
ちんだ たけし

SS 技術本部
ミドルウェア技術部



平 正明
たいら まさあき

SS 技術本部
ミドルウェア技術部



荻野 和滋
おぎの かずしげ

SS 技術本部
ミドルウェア技術部