

英 CSR 社・高音質デジタルアンプ DDFFA®の紹介

シーエスアール株式会社

大島 勉

昨今のスマートフォンやタブレットの普及によりBluetooth採用製品が世界のオーディオ市場でも増加し続けている。オーディオ愛好家の中にも一度は耳にしたことがあると思われる高音質コーデック技術の aptX、Bluetooth・Wi-Fi オーディオ製品で高性能の半導体としても知られているイギリス・ケンブリッジに本拠を置く CSR 社。筆者は CSR の日本法人に所属しており、オーディオ製品を担当している。今回紹介させて頂くデバイスは、当社のオーディオ・プラットフォームの一端を担う高音質デジタルアンプ・デバイス DDFFA (CSRA6600, CSRA6601) である。

■はじめに

小型で高出力、90%の電力効率を得られるなど、デジタルアンプのアーキテクチャーがもたらす利点は、広くオーディオ愛好家に知られている。ただデジタルアンプが採用されている多くのオーディオ製品にて、電力効率の良さのみが注目され、音質は二の次にされている現状があることも事実である。対照的に高音質・高特性を狙う製品においては、それらのデバイスの性能では不十分である。音質を重視する製品カテゴリに入るためには、デジタルアンプはアナログ・リニアアンプと同等の音質特性が求められる。今回、当社の開発したフィードバックの利点を十分に活かした高音質デジタルアンプ、“Direct Digital Feedback Amplifier” - DDFFA を紹介させて頂く。当社のアンプ技術は、アナログ・リニアアンプの高音質・特性を追及するユーザーの期待に応えられる当社独自のアーキテクチャーを採用したデバイスである。

■オープンループ型のデジタルアンプについて

現時点でもデジタルアンプ製品の多くはオープンループ型のデバイスであり、特に低価格帯、仕様上の要求が高くない製品で採用されているのが実状である。しかしながら、これらのオープンループ型デバイスは音質が要求される製品レンジでは仕様を満たすことができない。このオープンループ型のデバイスが性能を満たせない原因としてシステム中の 2 つの大きな要因がある。それは出力段 FET デバイスからの影響と電源部の影響である。オープンループ型の場合、出力パルスの波形が出力段により、必然的に理想の形からかけ離れてしまい、結果これが歪みの原因となる。そのうえアンプの出力インピーダンス特性は出力段のデバイス自体の性能により制限され、特に低音の応答特性などに影響が出る。オープンループのデジタル入力型デジタルアンプでは、構造的に電源の影響を直に受けてしまうため、結果、電源のリプル対策や根本的なノイズ除去の手法を用いない限り特性の良いアンプを作ることや、安定したゲインを保つことは非常に難しくなる。

■フィードバック・アーキテクチャー

フィードバック技術を用いることにより、このオープンループ設計上の出力 FET 段、電源の問題を低減させることが可能である。アナログ・リニアアンプの場合、理想値からの誤差成分に対するフィードバック補正技術は、すでに成熟領域にあるが、デジタルアンプの場合、この思想を性能に十分反映させられるように設計することは、いまだに難しい問題となる。以下、現在のデジタルアンプ・デバイスで行われているメジャーな補正手法に関して紹介する。

先行予測型の補正スキーム：電源電圧をモニターし、アンプ出力段に対して先読みして補正成分を加える手法。これはデジタル領域では比較的簡単であるが、出力段の波形の歪みや出力インピーダンスを改善させることはできない。

パルス幅の補正スキーム：この手法は PWM パルス幅を出力 FET 段後でモニターし理想の PWM 波形と比較し補正をかけるというものである。差分（誤差）は、次に出てくるパルスに対して補正をかけることができ、理想の特性を持たない出力段 FET デバイスに対しての補正に対して有効であるが電源部分の影響を除去することはできない。

A/D コンバーターによる包括的なフィードバック：別のアプローチとしてあるのが、出力アナログ信号をデジタル・ドメインに戻し、デジタルアンプに入力されるデジタルデータと差分を計算するというものである。これは、処理上の時間的な観点から位相・群遅延の問題があり完全なものをつくるのは実現不可能とされている。

上記の技術は、すべての誤差要因となるファクターに対して満足いくような解決策とならないが、当社の”ダイレクト・デジタル・フィードバック”技術は、これらの問題を解決できる独自のアルゴリズムとアーキテクチャーを採用している。

■ダイレクト・デジタル・フィードバック・アンプ (DDFA)

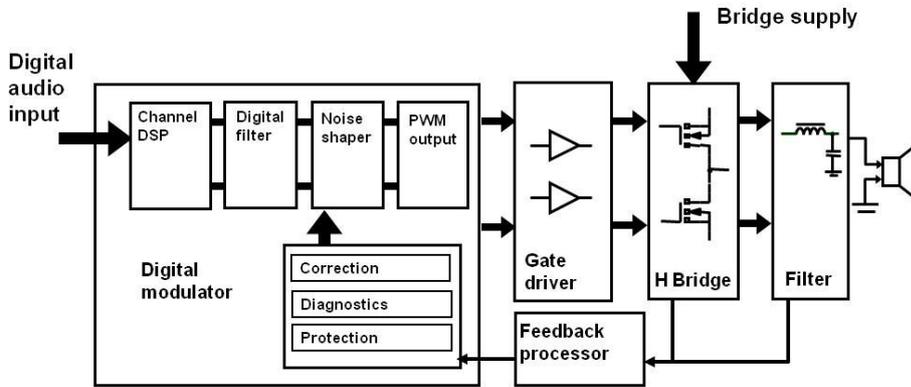
当社のダイレクト・デジタル・フィードバック技術を採用頂くことにより性能に対して多くのメリットが出すことが可能である。音質特性上の性能を図る数値の向上はもちろん、アンプ段・基板設計上の制約も緩和され、全体のシステムデザインもよりシンプルにできる。

ダイレクト・デジタル・フィードバックにより、PWM 出力段に対して正確に補正が行われ、潜在的に存在する誤差成分をとり除くことが可能である。DDFA は、低ジッターのクロック成分をデバイス内部で採用していることや、デバイス内部の高サンプリングレート処理により量子化誤差成分を最小にしている。独自のトランジェント情報・解析アルゴリズムにより歪み成分を最小化させることが可能である。

■特性劣化を招く外的要因に対して

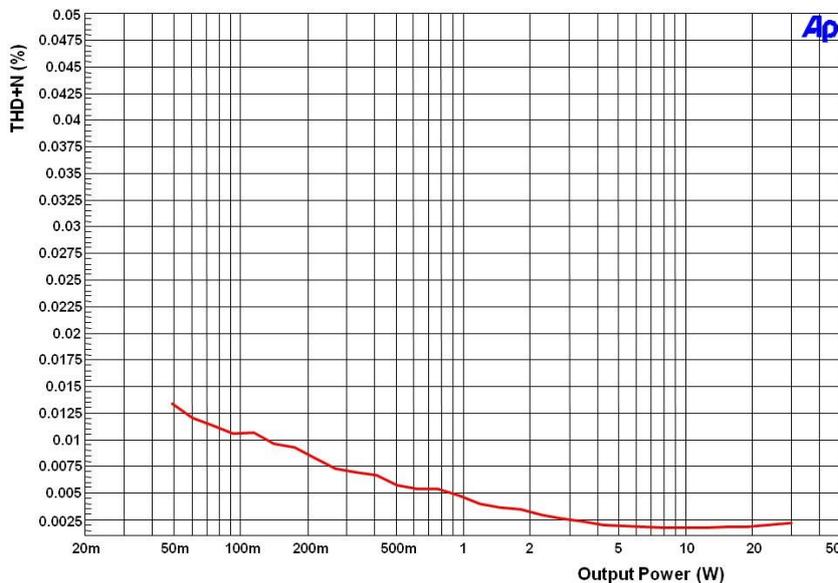
DDFA は、電源のリップル、サグ等の音質劣化を招くものや、予測不可能な電圧ドロップに対するデバイス設計が考慮されていることにより、アンプ設計エンジニアの電源部分の設計負荷を

減らすことに貢献できると考えている。出力段（ゲートドライバ・MOSFET・ローパスフィルタ）に対しても独自技術による音質劣化を招く成分に対して十分効果を出せるデバイス設計にしている。フィードバックとしては2系統、ブリッジ段出力からのフィードバックと、LPF 後からのフィードバックを統合した構造になっている。



オープンループ型でのシステム設計は、歪みと損失とのトレードオフの問題がある。デッドタイム期間と貫通電流の関係もあり特性を出すためには非常にリスクを伴うが、貫通電流量は周囲の状況により数値的にも変化するためシステム設計上、簡単な問題になるとは思えない。弊社のフィードバックシステムを用いることで、この問題は緩和させることが十分可能である。

DDFA フィードバック技術は出力段の歪み率の改善や、熱効率・損失を考慮し、システム保護にも寄与している。以下は、THD+N 特性測定データである。THD+N は 0.004%を達成した。



また THD+N と同様、性能ファクターとして重要なダイナミックレンジ特性も 117dB を達成している。歪みを削減することのメリットとしては、音圧レベルの低い部分での解像度の向上であるが、これにより音像の明瞭さや定位の正確性があがることが期待できる。残留ノイズレベルは $60\mu\text{V}$ 以下を実現している。これにより音声信号レベルの低いものでも、原音に正確な再生を行うことが可能になる。

■ローパスフィルター段でのフィードバック

別のフィードバックループとして、ローパスフィルター段後のフィードバックを利用している。この手法により、出力フィルターの非線形性から起こる歪みの除去に効果を発揮でき、また低音域の応答性を左右する出力インピーダンスのレベルを最小にさせることで高ダンピングファクターが実現できる。オープンループのデジタルアンプの場合、低音域の応答性は良くない傾向であるので、これはフィードバック型のデジタルアンプの利点と言っても良いと考える。

■ダイレクト・デジタル・フィードバック技術のその他の利点として

様々な出力仕様に対応でき、デジタル領域で行われる誤差補正アルゴリズムや、アンプ段内蔵のデジタル信号処理により、フィードバックで取得されたデータは高速解析、補正処理され理想の波形に極限まで近づけることが可能である。出力段から得たフィードバックデータの解析は、デバイス内部の独自の処理で行われ、これを保護回路・プロテクションにも利用しているため、複雑な保護回路を追加することなくアンプシステムを不具合から守ることも考慮されている。

■オーディオ特性仕様に関して

DDFA は音質特性やフィードバック処理の特徴以外にも、192kHz/32bit までの入力インターフェースを持っている。低ジッター処理、独自の補間フィルター処理やノイズシェイパー処理は、昨今の"ハイレゾ"ブームにも対応した高音質を迫及した設計であり、デバイス内部の信号処理は最終段まで全て 35bit の解像度で拡張処理されていることにより十分なヘッドルームやきめ細かく滑らかな質感と高い解像度を両立し、極小レベルの音楽信号まで際立つ表現力を持たせることが可能になる。音の「味付け」要素、特徴付けに関しても考慮されたアーキテクチャーを採用しているため、音質・性能に対して厳しい日本のオーディオ愛好家に対しても、満足頂けると確信している。

■結びに

DDFA により、高いサンプリング周波数に対応した入力、広帯域での正確な応答性、フィードバック処理、効率などのデジタルアンプの利点を活かした高音質なリスニング環境を構築することが可能になると考える。以下は DDFA の主要特性データを纏めた表である。

DDFA の主要特性データ	
入力仕様	192kHz, 32 bit
内部信号処理ビット幅	35 bit
THD+N	0.004%
ダイナミックレンジ	117dB
残留ノイズ	<60 μ V
ダンピングファクター	>2000
効率	>90%

DDFA (CSRA6600, CSRA6601)は、既に量産出荷され、欧州のメジャー・オーディオ雑誌のファイブスター受賞製品に採用実績があり、著名なオーディオ評論家による音質評価でも、DDFAの音質はハイエンド・リニアアンプに匹敵するとのレビュー結果を頂いている。昨今のBluetooth製品の世界市場拡大によりオーディオ愛好家以外のユーザーにも好評頂いている弊社の高品質コーデック技術 aptX が搭載されたBluetooth・デバイスと、DDFA の統合プラットフォームを採用した製品も既にリリースされているので是非ご覧頂きたい。(aptX 専用サイト-日本語 <http://www.aptx.com/ja>) 最後に弊社の今後の動向に興味を持って頂けたら幸いです。

■CSR について

CSR は、位置情報検知 (ナビゲーション)、メディアリッチ、クラウド・コネクティビティの分野に革新的なシリコンおよびソフトウェア・ソリューションを提供するグローバル企業です。当社のプラットフォームは車載ナビおよびインフォテインメント、デジタルカメラ、画像処理、家庭用インフォテインメント、ワイヤレス・オーディオ市場向けに最適化されています。CSR は、オーディオビジュアル、コネクティビティおよびロケーション・テクノロジーなどの様々なマーケットで多様化する課題に対応するソリューションを提供し、それらは自動車、コンピュータ、家庭用および携帯機器マーケットをリードする主要企業に採用されています。CSR のテクノロジー・ポートフォリオは以下の通りです。GPS/GNSS システム、Bluetooth、Wi-Fi、FM、NFC、aptX および eVc オーディオ・コーデック、JPEG、MPEG、H.264 画像処理、IPS 印刷、マイクロコントローラ、DSP およびブロードバンド・レシーバー。これらテクノロジー・ソリューションおよびマーケット・プラットフォームを活用頂くことで、採用メーカーはエンドユーザーに優れたユーザー体験をご提供いただけます。さらに詳しい情報および最新情報は当社 Website <http://www.csr.com/japan/> technical blog CSR people blog 及び SNS サイト YouTube, Facebook , twitter.com/CSR_plc をご覧ください

■筆者略歴



大島 勉 (おおしま つとむ)

シーエスアール株式会社にてオーディオ製品を担当。

日本オーディオ協会会員。Audio Engineering Society 会員。

日本オーディオ協会認定・デジタルホームシアター・スペシャリスト。

1999 年から 15 年間、外資系半導体メーカーのエンジニアとしてデジタルテレビ、パッケージ・メディア、音響アルゴリズム、Bluetooth、オーディオ DSP、デジタルアンプ製品用デバイスのソフトウェア開発・技術サポートに従事。

2013 年 1 月より現職。趣味は Hi-Fi オーディオと音楽鑑賞。