

Technology Summary

アンプ設計の大前提を覆す下記新技術を余すことなく統合開発

① 世界初『Current Drive（帰還型電流駆動）』

ヘッドフォンの動作法則に基づく理想の駆動方式。市場に出回るヘッドフォンアンプの凡そ99.99%は『電圧』駆動。従来の『電圧』駆動から、コペルニクスの転換となる、帰還型として世界初『Current Drive（電流駆動）』信号増幅回路は、『電流』駆動により、究極の高解像度と圧倒的な駆動力、透明感と相反する再生を同時に実現。

多くのヘッドフォンは、磁界の中で振動板を『電流』で駆動し、空気を動かして音声に変換するモーター（リニアモーター）の基本構造を持つ。その磁気による駆動力=カF（音の大きさ）は、フレミングの左手の法則に由来。当法則では、カF（音の大きさ）は電流Iと磁界Bとの積（ $F=I \cdot B$ ）。ここには『電圧』というパラメータは存在せずその駆動力エネルギーの主役は『電流』。そうしたヘッドフォンの基本原理と法則に基づき、帰還型として世界初『Current Drive（電流駆動）』増幅回路を新たに開発。

新開発『Current Drive（電流駆動）』により、従来必要とされたインピーダンスに依存するヘッドホン毎のゲイン切り替えが不要に。

② 『4重安定化電源』

4重安定化電源（Four-ply Stabilized Power Supplies）採用により、最終段AMPにおいて負荷による電源変動を皆無なまでに抑え込むことに成功。

③ 『One on One Direct Power 電源回路』

電源回路をAMPと1対1構成で基板を挟んで正反対に実装し、最短でAMP電源端子に接続する究極のレイアウトを新開発。

④ ドライブアンプ最終段『コンデンサーを排除』

従来議論せざるを得なかった電源用コンデンサーの音の癖を排除。

⑤ 『Advanced Current Segment方式』 DAC

最近のDAC製品の採用傾向として $\Delta\Sigma$ 型を使用する機会が多い中、マルチビット型をベースに $\Delta\Sigma$ 型の利点を取り入れたAdvanced Current Segment方式DAC（PCM1792A）を採用。当PCM1792Aも、基準電源に基づいた電流加算、電流出力の基本設計を採用し、前述のE1ならではの電流駆動と同じ設計思想をもつことから、E1が標榜する音出し、音色の世界観を統一。

Technology ①

『Current Drive（電流駆動）』

『電流』駆動はヘッドフォンの動作法則に基づく理想の駆動方式。市場に出回るヘッドホンアンプの凡そ99.99%は『電圧』駆動。従来の『電圧』駆動から、コペルニクスの転換となる、帰還型として世界初『Current Drive（電流駆動）』信号増幅回路を開発。

・『電流』駆動により、究極の高解像度と圧倒的な駆動力、透明感と相反する再生を同時に実現。

・新開発『Current Drive（電流駆動）』により、従来必要とされたインピーダンスに依存するヘッドホン毎のゲイン切り替えが不要に。

・一般的な音声変換の仕組み

ヘッドホンやスピーカーはモーターとして考えられ、モーターの動き(力)が空気を動かし音声に変換します。その力は「**フレミングの左手の法則**」に由来します。すなわち、力 F (音の大きさ)は電流 I と磁界 B との積 ($F=I \cdot B$) であらわされます。ここには電圧というパラメータは存在せず**駆動力エネルギーの主役は電流**であると言えます。

・従来の『電圧駆動』の問題点

ほとんどのヘッドホンアンプは電圧駆動を採用しており、音声信号は電圧としてヘッドホンに接続されます。ヘッドホンの負荷抵抗でオームの法則により、電流へ変換されます。ここで見過ごせない下記の問題が発生する可能性があります。

1. ヘッドホンの抵抗差(数 Ω ~数100 Ω)によるGain差

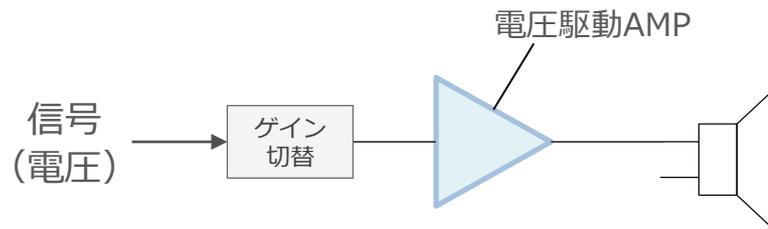
- ・ 負荷抵抗が変われば同じ電圧でも電流が変わる = F (音の大きさ)が変わる = アンプのGainが変わったことと等価
- ・ 例えば30 Ω と高め300 Ω のヘッドホンでは同じ電圧で電流は10対1の差 = 10倍のゲイン差(電圧差を補正しないと同等にならない)
- ・ ボリュームでは実用上の調整範囲を超えるためゲイン切替えスイッチが必須に

2. 接続ケーブルの影響を受ける

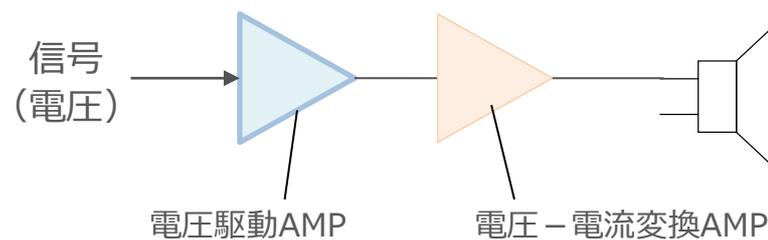
- ・ 接続ケーブルの抵抗がアンプの負荷の一部となる
- ・ ヘッドホン負荷に直列接続され、ケーブルの抵抗と駆動電圧を分け合う
- ・ 接続ケーブルで一部のエネルギーが消費される
- ・ 接続ケーブルには容量成分、インダクタンス成分がある
- ・ 接続ケーブルの消費エネルギーが周波数に対して一定ではない = 原理的に音質に影響を与える (音質変化が約束されていると言える)

3. ヘッドホンの抵抗が周波数に対して一定ではない

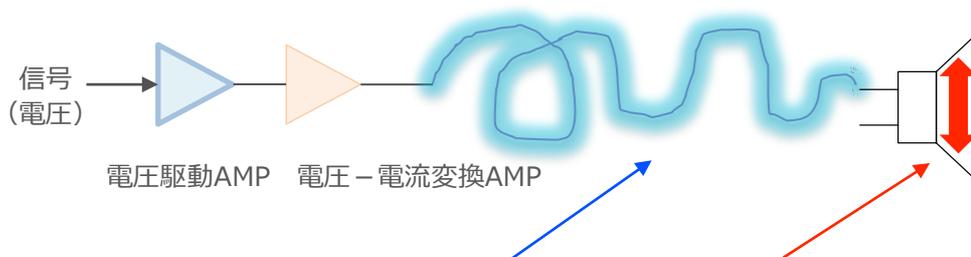
- ・ 抵抗が周波数に対し一定であることが理想
- ・ インダクタンスによる高域の抵抗増加がある
= 高域の電流低下による高域特性の劣化
- ・ メカ共振による急激に抵抗増加する周波数が存在することがある
= 共振点(付近)では抵抗が増加、電流が低下する
- ・ 共振点の挙動は入力音楽信号とは相関のない動き
= 正しい音源再生とは言い難い、これはむしろヘッドホンの問題



・ E1 『Current Drive (電流駆動)』 の場合



電圧増幅AMPの後ろに電圧⇒電流変換回路を付加すれば、入力電圧に応じた電流を流すことができます。この回路は電流駆動AMPとして働き、上記1～3の諸問題に影響されず、(ヘッドホンの抵抗特性、接続ケーブルの特性に因らず) 予め設計値として取り決めた電圧に比例した電流が確実にヘッドホンを通過します。したがってゲイン切り替えスイッチを備える必要はありません。



『ケーブル等による伝送経路』 『ヘッドホンの電気特性』
の影響を受けず入力信号に忠実な電流駆動を実現

Technology ②③④

『4重安定化電源』ほか電源回路

・ 電源本来の役割とこれまでの問題点

電源の役割はAMPに対するエネルギーの安定供給と動作基準であることにつきます。

現実の機器では

1. ACからのノイズと電圧変動要因
2. 電源回路及び部品自身のノイズと電圧変動
3. 負荷(AMP負荷)による電圧変動

が考えられ、1～3がAMP動作に作用し、結果的に音質に影響を与え問題となります。

1と2は従来技術(回路、部品の選択と組み合わせ)でノイズと電圧変動を押えることができます。3のAMP動作による電圧変動は根が深く、AMP自身が動作することにより

電圧が変動し、その電圧変動が自身とあらゆる他のAMP及びDAコンに影響が及びます。

機器全体の回路を構成する複数のAMP,DAコン同士の相互干渉(クロストーク)が発生し、音が混濁し、立上り、音像定位、余韻などに悪影響を与えます。

安定化電源のパフォーマンスが供給先のAMP動作についていけないことが唯一の原因

です。1,2の影響の(少)ないバッテリー駆動に於いてもバッテリー形状により各AMPの電源端子までのすべての配線距離を最短に結ぶことは困難で配線インピーダンスの影響が残ります。これは遠まわしに従来の電源回路構成では配線パターンを工夫しても限界があるということも意味します。

・ 新開発『4重化電源』

4重安定化構成の内1, 2段目は目的別の電圧を生成する機能を達成しながら各回路と使用部品を選びすぐることで1,2の問題を克服し、3段目と4段目電源間は銅厚200umの電源・GND無酸素銅層によるローインピーダンス配線により4段目電源の動作を確実なものとし、4段目の電源は供給相手のAMPよりも優れた特性のドライブアンプを用いることでAMPの動作を掌握し、電流を過不足なく供給します。

Technology ②③④

『4重安定化電源』ほか電源回路

・ 電源本来の役割とこれまでの問題点

電源の役割はAMPに対するエネルギーの安定供給と動作基準であることにつきます。

現実の機器では

1. ACからのノイズと電圧変動要因
2. 電源回路及び部品自身のノイズと電圧変動
3. 負荷(AMP負荷)による電圧変動

が考えられ、1～3がAMP動作に作用し、結果的に音質に影響を与え問題となります。

1と2は従来技術(回路、部品の選択と組み合わせ)でノイズと電圧変動を押えることができます。3のAMP動作による電圧変動は根が深く、AMP自身が動作することにより

電圧が変動し、その電圧変動が自身とあらゆる他のAMP及びDAコンに影響が及びます。

機器全体の回路を構成する複数のAMP,DAコン同士の相互干渉(クロストーク)が発生し、音が混濁し、立上り、音像定位、余韻などに悪影響を与えます。

安定化電源のパフォーマンスが供給先のAMP動作についていけないことが唯一の原因

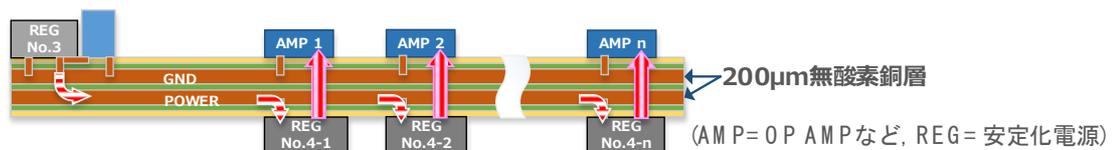
です。1,2の影響の(少)ないバッテリー駆動に於いてもバッテリー形状により各AMPの電源端子までのすべての配線距離を最短に結ぶことは困難で配線インピーダンスの影響が残ります。これは遠まわしに従来の電源回路構成では配線パターンを工夫しても限界があるということも意味します。

・ 新開発『4重化電源』

4重安定化構成の内1,2段目は目的別の電圧を生成する機能を達成しながら各回路と使用部品を選びすぐることで1,2の問題を克服し、3段目と4段目電源間は銅厚200umの電源・GND無酸素銅層によるローインピーダンス配線により4段目電源の動作を確実なものとし、4段目の電源は供給相手のAMPよりも優れた特性のドライブアンプを用いることでAMPの動作を掌握し、電流を過不足なく供給します。

- ・ アンプドライブ最終段で『コンデンサー排除』

ドライブアンプ出力のコンデンサー負荷はむしろ変動抑圧能力(Gain)と周波数帯域を狭めるためドライブアンプ(=4段目電源)出力とAMPの電源端子間は一切コンデンサー(パスコン)を廃しています。



- ・ 『One on One Direct Power 電源回路』

電源回路をAMPと1対1構成で基板を挟んで正反対に実装し、最短でAMP電源端子に接続する究極のレイアウトとなっています。

さらに、4段目の電源は温度偏差 1 ppm/°C以下となる最高水準ローノイズ電圧リファレンスを基準に動作しています。

- ・ 新開発『4重化安定電源回路ほか』のまとめ

以上、最高度に練り上げたこれまでにない特徴的な回路及び基板構成により、最初に挙げた前述「3. 負荷(AMP負荷)による電圧変動」を克服すると同時に、従来議論せざるを得なかった電源用コンデンサーの音の癖をも排除しました。唯一無二、正に究極の電源回路を目指しています。

Technology ⑤

『Advanced Current Segment方式』 DAC

マルチビット型を基本としたAdvanced Current Segment方式のDAC (PCM1792A) を採用。当PCM1792Aは、基準電源に基づいた電流加算、電流出力の基本設計を採用し、E1ならではの電流駆動と同じ設計思想をもつことから、E1が標榜する音の世界観を統一。最近のDAC製品の採用傾向として $\Delta\Sigma$ 型を使用する機会が多い中、マルチビット型をベースにしたAdvanced Current Segment方式DAC (PCM1792A) を採用した理由は下記のとおり。

従来の『 $\Delta\Sigma$ 型』の特徴

1. マルチビット型と比べて工業的に作りやすい
= $\Delta\Sigma$ 変調の次数、サンプリング周波数によってノイズレベルを決められる
2. 音声帯域外のノイズが膨大で後段のアナログ的処理が重要になる
3. クロックタイミングでの変換の積み重ねはクロックJitterが信号レベル方向へ直接影響するため、Jitterの信号再現性への影響が大きい
=様々なClock周波数に対応するためのPLLはJitterを極小にすることが困難で特にDPLLはゲインを高く取れるが離散的傾向がありJitterの信号再現性に特徴的影響がある
4. 一般的に音質は繊細、癖のないさわやかさは時間的なエネルギー分散が覗かれる

E1が採用した『マルチビット型』の特徴

1. 電流加算量を決める高精度な抵抗アレーはレーザートリミングが必要になる場合製造に不向き
2. ノイズは主に自然発生的な熱雑音である
3. クロックJitterは信号レベルには無関係
4. 音質は中低音に重厚さがあり、鮮やかな音出

『Advanced Current Segment方式』 DAC (PCM1792A) の特徴

PCM1792Aは、繊細な表現が得意な $\Delta\Sigma$ 型の特徴と中低音が重厚で明るい音出の特徴を併せ持ち、両者の長所を生かす構成を採用しています。具体的にはフルスケールに対して下位18Bitを $\Delta\Sigma$ 変調で変換し、上位6Bitのマルチレベルステップ信号と統合後、電流加算を行う手法であり、 $\Delta\Sigma$ 型の欠点であるクロックジッターの影響と帯域外ノイズ量を抑える効果とマルチビット型の欠点を回避するレーザートリミング不要の製造の容易さ等のバランスを考慮した設計となっています。

Technology ⑤

『Advanced Current Segment方式』 DAC

PCM1792Aの『DSD再生』

DSD再生は多くのDACが採用しているDSD⇔PCM変換を必要とせず、 $\Delta\Sigma$ 変調を備えた上述の電流加算器がローパスフィルターの役割を果たし、直接アナログ変換を行います。したがってPCM音源とDSD音源を理想的に扱える設計であると言えます。

PCM1792A『電流出力』からアンプ『電流駆動』へ設計統合

PCM1792Aの基準電源に基づいた電流加算、電流出力の基本設計は、E1のアナログ段の電流駆動と同類の概念。E1ではこうした特徴を最大限に引き出すため、前述した4段目の安定化電源回路をPCM1792A用にアレンジしL,Rチャンネル個別に供給しています。通常、推奨アプリケーションでデジタルノイズが観測されるアナログ用電源端子はデジタルノイズはもとより、あらゆる信号再生シーンで電圧の変動は皆無です。

また、アプリケーションで推奨しているコンデンサーはケミカルコンデンサーですがE1はすべてフィルムコンデンサーを使用しています。さらにリファレンス抵抗には許容差 $\pm 0.01\%$ 、温度係数 $\pm 2\text{ppm}/^\circ\text{C}$ の高精度抵抗を含めた抵抗群で試聴を繰り返しながら音出しを調整しています。

DAC以降のアナログ回路は前述の電流駆動と同様の一連の設計思想を徹底し、E1が目標とするデジタル部からアナログ部まで電流駆動で統合した回路設計を実現。

Technology

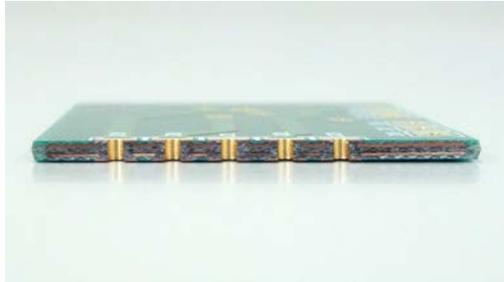
- 業界規格外の超厚銅箔4層基板の採用により、
超低インピーダンス配線によるハイスピード、超高解像度を実現

- 電源GND配線用第2層、第3層には200 μm の分厚い無酸素銅

電源の配線は太い線とよく言われますが基板はどうでしょうか。

小型化、量産化のためには基板化は必須ですが、これまで使用している銅箔はわずか35 μm 程度。前述の電源回路だけではなく、基板自体の構造と造りにも徹底的にこだわり、分厚い無酸素銅箔により低インピーダンス給電を可能としています。

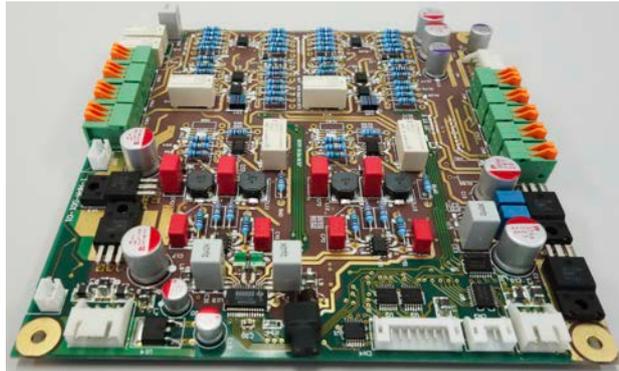
基板断面



- 信号用に銅厚約100 μm （第1層、第4層）銅箔

信号用の基板についても業界規格外の銅箔を使用。アナログ部はレジスト塗装しない金フラッシュ仕様により音質を重視しています。

部品面



裏面



Technology

- 業界規格外の超厚銅箔4層基板

- 厚銅のため、ガラスエポキシにもかかわらず基板を曲げてでも戻らない。



- 重量は一般のユニバーサル基板の約2倍。熱伝導が極めて高く、はんだごてでの熱が逃げるため、通常ホットプレート加熱しながら全ての回路部品をひとつひとつ丁寧に手作業による微細なはんだ付け作業を行っています。



Technology

- LR完全独立回路構成

- DAコンバーターへの電源供給を含め、各AMPへの電源供給とLR信号の流れとを完全に独立しています。 これにより、チャンネル間クロストークはもちろん、同チャンネル間のクロストークを極限まで抑えています。

